



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGUNAAN SURGE TANK SEBAGAI ALTERNATIF
PENCEGAHAN WATER HAMMER PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM (STUDI KASUS DI RUMAH
POMPA PRODUKSI UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR
MINUM (IPAM) KARANG PILANG 1 PT. PDAM SURYA
SEMBADA SURABAYA)**

**INDRADI MULYA AZHARI
NRP. 102115 00000 127**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
NIP. 19620216 199512 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGUNAAN SURGE TANK SEBAGAI ALTERNATIF
PENCEGAHAN WATER HAMMER PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM (STUDI KASUS DI RUMAH
POMPA PRODUKSI UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR
MINUM (IPAM) KARANG PILANG 1 PT. PDAM SURYA
SEMBADA SURABAYA)**

**INDRADI MULYA AZHARI
NRP. 102115 00000 127**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
NIP. 19620216 199512 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

**THE USE OF SURGE TANK AS ALTERNATIVE TO
PREVENT WATER HAMMER ON WATER TREATMENT
FOR DRINKING INSTALATION (CASE STUDY AT PUMP
STATION UNIT FOR DRINKING WATER TREATMENT
PLANT (IPAM)) KARANG PILANG 1 PT. PDAM SURYA
SEMBADA SURABAYA)**

**INDRADI MULYA AZHARI
NRP. 102115 00000 127**

**Consellor Lecture
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
NIP. 19620216 199512 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

**PENGUNAAN SURGE TANK SEBAGAI
ALTERNATIVE PENCEGAHAN WATER HAMMER
PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM
(STUDI KASUS DI RUMAH POMPA PRODUKSI
UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM
(IPAM) KARANG PILANG 1 PT. PDAM SURYA
SEMBADA SURABAYA)**

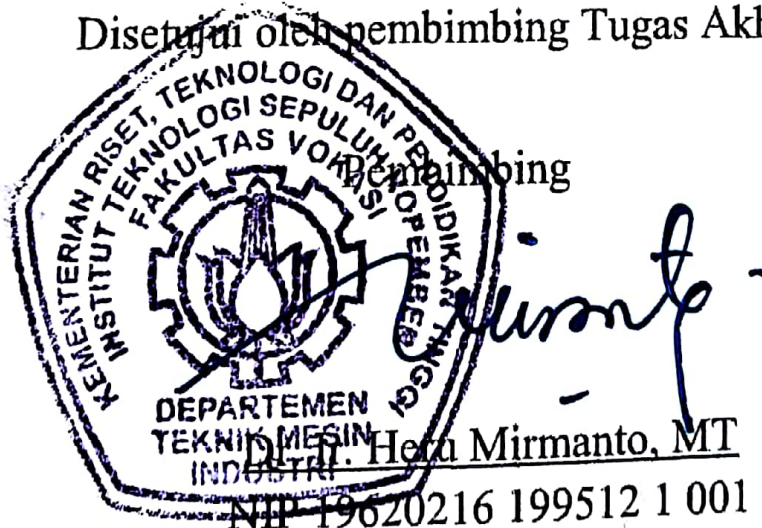
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :

INDRADI MULYA AZHARI
NRP. 102115 00000 127

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir :



**SURABAYA
JULI 2018**

**PENGUNAAN SURGE TANK SEBAGAI ALTERNATIVE
PENCEGAHAN WATER HAMMER PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM (STUDI KASUS DI RUMAH
POMPA PRODUKSI UNIT INSTALASI PENGOLAHAN
AIR MINUM (IPAM) KARANG PILANG 1 PT. PDAM
SURYA SEMBADA SURABAYA)**

Nama Mahasiswa : INDRADI MULYA AZHARI
NRP : 10211500000127
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT

Abstrak

Water hammer adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam pipa secara tiba-tiba. Hal ini biasanya diakibatkan oleh penutupan valve yang cepat, matinya pompa karena padamnya listrik maupun kegagalan operasi pada pompa. Fenomena tersebut memiliki dampak negatif pada sistem perpipaan dengan selang waktu tertentu dan dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanganan yang tidak tepat terhadap dampak tersebut akan mengakibatkan fluktuasi tekanan yang dapat menyebabkan rusaknya atau pecahnya pipa utama sehingga mengakibatkan seluruh peralatan harus dimatikan. Pada dasarnya banyak alat yang dapat digunakan untuk mereduksi lonjakan tekanan yang diakibatkan oleh water hammer, tetapi penelitian ini hanya memfokuskan pada gas accumulator dan surge tank saja

Pada penelitian ini, pemodelan sistem perpipaan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AFT Impulse 4.0. Sistem perpipaan yang disimulasikan menggunakan sistem proteksi water hammer (gas accumulator) pada kondisi aktual di unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

dan pemasangan surge tank sebagai pengganti dari gas accumulator. Penelitian ini juga melakukan variasi yaitu, pada surge tank dilakukan variasi liquid height level. Analisa yang dilakukan untuk mempelajari fenomena water hammer pada saat kondisi pompa gagal beroperasi. Hal ini untuk melihat dampak dari pemasangan gas accumulator dan surge tank yang telah di variasikan terhadap efek dari fenomena water hammer. Variasi liquid height level pada surge tank, yaitu 0m hingga 6m.

Hasil yang didapatkan pada simulasi berupa plot grafik dari fluktuasi tekanan yang terjadi pada sistem perpipaan. Berdasarkan hasil perbandingan simulasi transient antara gas accumulator dan surge tank yang di variasikan liquid high level-nya memberikan hasil perbedaan yang cukup berarti, yakni pada pemodelan 1 pompa mengalami kegagalan operasi gas accumulator menghasilkan tekanan maksimum yang lebih rendah dari surge tank dengan liquid high level setinggi 0 meter, 2 meter, 4 meter dan 6 meter. Sedangkan pada variasi liquid high level 1 meter, 3 meter dan 5 meter surge tank memiliki tekanan maksimum lebih rendah dari gas accumulator.

Kata kunci : water hammer, AFT Impulse, surge tank, gas accumulator

**THE USE OF SURGE TANK AS ALTERNATIVE TO
PREVENT WATER HAMMER ON WATER TREATMENT
FOR DRINKING INSTALATION (CASE STUDY AT PUMP
STATION UNIT FOR DRINKING WATER TREATMENT
PLANT (IPAM)) KARANG PILANG 1 PT. PDAM SURYA
SEMBADA SURABAYA)**

Name : INDRADI MULYA AZHARI
NRP : 10211500000127
Major : Department of Industrial Mechanical
Engineering FV-ITS
Counselor lecture : Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT

Abstarct

water hammer phenomenon is a phenomenon of the occurrence of pressure fluctuations arising from the increase and decrease in the flow velocity in the piping that occur suddenly.. This is caused by the power outage, closing the valve as quickly or there is a failure in the operation of the pump itself. This phenomenon has a negative impact on the pipeline system with specified intervals and impacts occur at once. Improper handling of the impact will result in pressure fluctuations that may cause damage or rupture of the main pipe resulting in all equipment being shut down. Basically a lot of tools can be used to reduce the pressure bump caused by water hammer, but this research only focuses on gas accumulator and surge tank only

In this research, modeling of piping system is done by using AFT Impulse 4.0 software. The piping system is simulated using water hammer protection system (gas accumulator) at actual condition in unit of IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya and installation of surge tank as an alternative of gas accumulator. This research also conducted a variation of liquid high level on surge tank. The analysis was conducted to study the phenomenon of water hammer when the pump condition

failed to operate. This is to see the impact of the installation of gas accumulator and surge tank that have been varied on the effects of water hammer phenomena. Variation of liquid height level at surge tank, is 0m to 6m.

The results obtained in the simulation of the graph plot of the pressure fluctuations that occur in the piping system. Based on the result of transient simulation comparison between gas accumulator and surge tank which varied the height of liquid high level its giving result of significant difference, that is in modeling 1 pump failure gas accumulator operation produce maximum pressure lower than surge tank with a height of liquid high level are 0 meters, 2 meters, 4 meters and 6 meters. While the variation of liquid high level 1 meter, 3 meter and 5 meter in surge tank has a maximum pressure lower than gas accumulator

Keywordi : water hammer, AFT Impulse, surge tank, gas accumulator

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, serta tak lupa sholawat dan salam saya ucapkan kepada Rasullullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT sehingga, penulis dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan tugas akhir dengan judul: **“PENGUNAAN SURGE TANK SEBAGAI ALTERNATIVE PENCEGAHAN WATER HAMMER PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (STUDI KASUS DI RUMAH POMPA PRODUKSI UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) KARANG PILANG 1 PT. PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA)”**

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** Selaku Dosen pembimbing, dosen wali dan juga kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang telah dengan sabar dan telaten memberi bimbingan serta ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. **Bapak Ir Suhariyanto MT.** Selaku koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
3. Bapak/Ibu dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini., yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.
4. **Bapak Moekti dan Ibu Retno** sebagai orang tua penulis serta seluruh keluarga penulis yang telah memberi dukungan moril dan materiil serta do’a yang tak pernah putus selama ini.

5. **Alda** selaku partner dalam pengerjaan tugas akhir ini yang selalu membantu dan menemani dalam pengerjaannya.
6. **Sodiq, Arga, Bayu, Aziz, Rohmadoni, Sidiq, Alwi dan Dwi** selaku teman-teman kontrakan yang selalu menemani selama masa pengerjaan tugas akhir ini.
7. **Fransiska** sebagai teman baik penulis yang selalu setia menemani dan menyemangati selama masa pengerjaan tugas akhir
8. Teman-teman dari AKESMA 16/17 yang banyak memberikan masukan semasa pengerjaan tugas akhir.
9. Teman-teman D3MITS khususnya angkatan 2015
10. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Semoga semua doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Saya sebagai makhluk Allah SWT, manusia biasa. Saya menyadari bahwasannya penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK INDONESIA	iv
ABSTRAK INGGRIS	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xviii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penulisan	4
1.5 Manfaat Penulisan	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5

BAB II DASAR TEORI 7

2.1 Dasar Teori <i>Water Hammer</i>	7
2.2 Fenomena <i>Water Hammer</i>	8
2.3 Penyebab <i>Water Hammer</i>	10
2.4 Estimasi Momen Inersia <i>Impeller</i> Pompa dan Motor Penggerak	11
2.5 Aliran <i>Laminer</i> dan <i>Turbulen</i>	12
2.6 <i>Head</i> Efektif Instalasi Pompa.....	13
2.6.1 <i>Head</i> Statis	13
2.6.2 <i>Head</i> Dinamis.....	16
2.7 Proteksi <i>Water Hammer</i>	20
2.7.1 Teori <i>Gas Accumulator</i>	21
2.7.2 Teori <i>Surge Tank</i>	22
2.8 Perangkat Lunak AFT Impulse 4.0.....	24
2.9 Penelitian Terdahulu.....	24

2.9.1 Akbar, Marzal taufiq (2009).....	24
2.9.2 Fitriani (2012).....	25
2.9.3 Ferdiansyah, Pangki (2017).....	25
BAB III METODOLOGI.....	27
3.1 Proses Pemodelan Sistem Perpipaan	27
3.2 Pemodelan Dengan Menggunakan <i>Layout</i>	42
3.3 Skema Pemodelan Sistem Perpipaan Pada Simulasi	48
3.4 Skenario Operasi Pompa	48
3.4.1 Skenario 1 Pompa <i>On</i> yang Tiba-Tiba <i>Off</i> (<i>Trip</i> Dengan Inersia Tanpa Aliran Balik) Dengan <i>Gas Accumulator</i> .	49
3.4.2 Skenario 1 Pompa <i>On</i> yang Tiba-Tiba <i>Off</i> (<i>Trip</i> Dengan Inersia Tanpa Aliran Balik) Dengan <i>Surge Tank</i>	49
3.5 Titik Analisa Permodelan Sistem Perpipaan	50
3.6 Skema Diagram Alir.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Data Hasil Simulasi	53
4.1.1 Skenario 1 Pompa <i>Trip</i> 1 Pompa <i>Standby</i> Dengan Gas Accumulator.....	53
4.1.2 Skenario 1 Pompa <i>Trip</i> 1 Pompa <i>Standby</i> Dengan Variasi <i>Liquid High Level</i> Pada <i>Surge Tank</i>	55
4.1.2.1 Variasi <i>Liquid High Level</i> 0 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	56
4.1.2.2 Variasi <i>Liquid High Level</i> 1 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	58
4.1.2.3 Variasi <i>Liquid High Level</i> 2 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	60
4.1.2.4 Variasi <i>Liquid High Level</i> 3 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	62
4.1.2.5 Variasi <i>Liquid High Level</i> 4 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	64
4.1.2.6 Variasi <i>Liquid High Level</i> 5 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	66

4.1.2.7 Variasi <i>Liquid High Level</i> 6 Meter Pada <i>Surge Tank</i>	68
4.1.3 Perbandingan Hasil Simulasi Alat Proteksi <i>Water Hammer Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank</i> Dengan Variasi <i>Liquid High Level</i>	70
4.1.3.1 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 0 Meter</i>	70
4.1.3.2 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 1 Meter</i>	72
4.1.3.3 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 2 Meter</i>	74
4.1.3.4 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 3 Meter</i>	76
4.1.3.5 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 4 Meter</i>	78
4.1.3.6 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 5 Meter</i>	80
4.1.3.7 Perbandingan Hasil Simulsi <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 6 Meter</i>	82
BAB V KESIMPULAN	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN 1	
LAMPIRAN 2	
LAMPIRAN 3	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Fenomena <i>Water hammer</i> Setelah Penutupan Valve Pada (a) $0 \leq t \leq L/a$, (b) $L/a \leq t \leq 2L/a$, (c) $2L/a \leq t \leq 3L/a$, dan (d) $3L/a \leq t \leq 4L/a$	8
Gambar 2.2 <i>Head</i> Efektif Instalasi.....	13
Gambar 2.3 Instalasi <i>Suction Lift</i>	15
Gambar 2.4 Instalasi <i>Suction Head</i>	16
Gambar 2.5 Moody Diagram	19
Gambar 2.6 <i>Gas Accumulator</i>	21
Gambar 2.7 <i>Bladder Gas Accumulator</i>	22
Gambar 2.8 <i>Surge Tank</i>	23
Gambar 3.1 Tampilan Awal <i>software</i> AFT Impulse 4.0	28
Gambar 3.2 Menu <i>System Properties</i>	28
Gambar 3.3 Permodelan Sistem Perpipaan.....	29
Gambar 3.4 Menu Spesifikasi Reservoir	30
Gambar 3.5 Menu Spesifikasi Valve	31
Gambar 3.6 Menu Spesifikasi Pompa.....	32
Gambar 3.7 Tabel Data Grafik Performa Pompa.....	32
Gambar 3.8 Pemilihan Model Transient pada Pompa	33
Gambar 3.9 Pemilihan Kondisi Pompa.....	33
Gambar 3.10 Menu Spesifikasi Check Valve.....	34
Gambar 3.11 Menu Spesifikasi Branch.....	35
Gambar 3.12 Menu Spesifikasi Tee	35
Gambar 3.13 Menu Spesifikasi <i>Gas Accumulator</i>	36
Gambar 3.14 Menu Spesifikasi <i>Surge Tank</i>	37
Gambar 3.15 Menu <i>Optional Surge Tank</i>	37
Gambar 3.16 Menu Spesifikasi Pipa	38
Gambar 3.17 Menu Fitting&Losses	39
Gambar 3.18 Menu Section Pipes	40
Gambar 3.19 Menu Transient Control.....	40
Gambar 3.20 Tampilan Program Saat Akan Running	41
Gambar 3.21 Skema Instalasi Perpipaan di Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya	42

Gambar 3.22 Kurva Performa Pompa Sentrifugal Torishima CDMV 700x600.....	44
Gambar 3.23 Skema <i>Gas Accumulator</i>	46
Gambar 3.24 Skema <i>Surge tank</i>	47
Gambar 3.25 <i>Layout</i> Pemodelan Instalasi Perpipaan dengan <i>Gas Accumulator</i>	48
Gambar 3.26 <i>Layout</i> Pemodelan Instalasi Perpipaan dengan <i>Surge Tank</i>	48
Gambar 3.27 Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa <i>on</i> yang tiba-tiba <i>off</i> Dengan <i>Gas Accumulator</i>	49
Gambar 3.28 Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa <i>on</i> yang tiba-tiba <i>off</i> Dengan <i>Surge Tank</i>	49
Gambar 3.29 Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> Dengan <i>Surge Tank</i>	50
Gambar 3.30 Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> dengan <i>Gas Accumulator</i>	50
Gambar 4.1 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Gas Accumulator</i> ..	54
Gambar 4.2 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Gas accumulator</i> Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-1	54
Gambar 4.3 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 0 Meter	56
Gambar 4.4 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 0 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-1.....	57
Gambar 4.5 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 1 Meter	58
Gambar 4.6 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 1 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2.....	59
Gambar 4.7 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 2 Meter	60
Gambar 4.8 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 2 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2.....	61
Gambar 4.9 Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 3 Meter	62

Gambar 4.10	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 3 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2....	63
Gambar 4.11	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 4 Meter	64
Gambar 4.12	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 4 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2....	65
Gambar 4.13	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 5 Meter	66
Gambar 4.14	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 5 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2....	67
Gambar 4.15	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 6 Meter	68
Gambar 4.16	Grafik Tekanan Terhadap Waktu <i>Surge Tank</i> variasi <i>LHL</i> 6 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2....	69
Gambar 4.17	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 0 Meter Pada Pipa 4.....	70
Gambar 4.18	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 0 Meter Pada Pipa 6.....	71
Gambar 4.19	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 0 Meter Pada Pipa 18.....	71
Gambar 4.20	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 1 Meter Pada Pipa 4.....	72
Gambar 4.21	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 1 Meter Pada Pipa 6.....	73
Gambar 4.22	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 1 Meter Pada Pipa 18.....	73
Gambar 4.23	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 2 Meter Pada Pipa 4.....	74

Gambar 4.24	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 2 Meter</i> Pada Pipa 6.....	75
Gambar 4.25	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 2 Meter</i> Pada Pipa 18.....	75
Gambar 4.26	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 3 Meter</i> Pada Pipa 4.....	76
Gambar 4.27	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 3 Meter</i> Pada Pipa 6.....	77
Gambar 4.28	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 3 Meter</i> Pada Pipa 18.....	77
Gambar 4.29	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 4 Meter</i> Pada Pipa 4.....	78
Gambar 4.30	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 4 Meter</i> Pada Pipa 6.....	79
Gambar 4.31	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 4 Meter</i> Pada Pipa 18.....	79
Gambar 4.32	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 5 Meter</i> Pada Pipa 4.....	80
Gambar 4.33	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 5 Meter</i> Pada Pipa 6.....	81
Gambar 4.34	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL 4 Meter</i> Pada Pipa 18.....	81

Gambar 4.35	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 6 Meter Pada Pipa 4.....	82
Gambar 4.36	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 6 Meter Pada Pipa 6.....	83
Gambar 4.37	Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan <i>Gas Accumulator</i> dan <i>Surge Tank LHL</i> 6 Meter Pada Pipa 18.....	83
Gambar 4.38	Grafik Perbandingan Tekanan Maksimum <i>Gas Accumulator</i> dan variasi <i>Liquid High Level</i> pada <i>Surge Tank</i>	84

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Karakteristik untuk Fluida Air pada Suhu 30°C	43
Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Produksi di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM	44
Tabel 3.3 Spesifikasi Elektro Motor Penggerak Pompa di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada.....	45
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Gas Accumulator</i> di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya	45
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Surge tank</i> di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya	46
Tabel 3.6 Variasi Liquid Height Level Pada <i>Surge tank</i> di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya...	47
Tabel 3.7 Detail Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa dengan Proteksi <i>Surge Tank</i>	51
Tabel 4.1 Tabel Hasil Simulasi <i>Gas Accumulator</i> Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	55
Table 4.2 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 0 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	57
Tabel 4.3 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 1 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	59
Tabel 4.4 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 2 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	61
Tabel 4.5 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 3 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	63
Tabel 4.6 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 4 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	65
Tabel 4.7 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 5 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	67
Tabel 4.8 Tabel Hasil Simulasi <i>Surge Tank</i> dengan <i>Liquid High Level</i> 6 Meter Skenario 1 Pompa <i>Standby</i> 1 Pompa <i>Trip</i>	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Water hammer adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan tekanan dalam pipa secara tiba-tiba. Hal ini biasanya diakibatkan oleh penutupan *valve* yang cepat, matinya pompa karena padamnya listrik maupun kegagalan operasi pada pompa. Fenomena tersebut memiliki dampak negatif pada sistem perpipaan dengan selang waktu tertentu dan dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanganan yang tidak tepat terhadap dampak tersebut akan mengakibatkan fluktuasi tekanan yang dapat menyebabkan rusaknya atau pecahnya pipa utama sehingga mengakibatkan seluruh peralatan harus dimatikan.

Rumah pompa unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang milik PT PDAM Surya Sembada Surabaya, adalah salah satu unit yang bergerak dalam sektor produksi dan juga distribusi air bersih untuk daerah Surabaya dan sekitarnya. Unit IPAM Karang Pilang ini memiliki 3 rumah pompa (*forwarding*) yang memiliki instalasi perpipaan yang berbeda dengan sistem proteksi *water hammer* yang berbeda pula. Untuk rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *gas accumulator*, rumah pompa IPAM Karang Pilang 3 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *surge tank*, sedangkan untuk rumah pompa IPAM Karang Pilang 2 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa penambahan *flywheel* pada instalasi pompa produksinya. Setiap proteksi diletakkan pada bagian *discharge* pompa.

Sebelumnya fenomena *water hammer* sudah pernah dianalisa di berbagai instalasi perpipaan, beberapa penelitian tersebut yaitu :

- Akbar, Marzal Taufiq (2009)
Melakukan analisa mengenai simulasi sistem proteksi *water hammer* pada transmisi air minum di PDAM Probolinggo. Pada penelitiannya Akbar membandingkan lonjakan tekanan yang terjadi ketika fenomena *water hammer* terjadi dengan 3 variabel, yaitu tanpa alat proteksi, dengan alat proteksi *surge tank*, dan dengan alat proteksi *gas accumulator*. Dari hasil simulasinya yang menggunakan *software* AFT Impulse 4.0 menyimpulkan bahwa alat proteksi yang tepat digunakan pada instalasi tersebut adalah *surge tank*, karena dapat mengurangi fluktuasi tekanan lebih baik dari pada *gas accumulator*.
- Fitriani (2012)
Melakukan analisa yang sama seperti Akbar (2009) dengan studi kasus pada Bandara internasional Juanda dengan skenario pompa mengalami *trip*. Hasil simulasi dengan menggunakan *software* AFT Impulse 4.0 menyimpulkan bahwa *surge tank* lebih mampu mereduksi lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dibandingkan *gas accumulator*.
- Ferdiansyah, Pangki (2017)
Melakukan evaluasi unjuk kerja sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* (studi kasus rumah pompa IPAM Karang Pilang 3) dengan variasi volume pada *gas accumulator* dan *liquid high level* pada *surge tank*. Setelah disimulasikan dengan *software* AFT Impulse 4.0 hasil terbaik dari variasi volume *gas accumulator* dan variasi *liquid high level* pada *surge tank* ternyata *gas accumulator* lebih mampu mereduksi lonjakan tekanan dengan skenario *water hammer* 1 pompa mengalami *trip*, 1 pompa *standby* dan 1 pompa *running* secara normal.

Ada dua hal yang melatarbelakangi penulis dalam membuat penelitian ini yaitu adanya perbedaan hasil evaluasi dan analisa mengenai sistem proteksi *water hammer surge tank* dan *gas*

accumulator serta belum pernah dilakukannya evaluasi pengaruh *water hammer* pada unit rumah pompa IPAM Karang Pilang 1. Sehingga penulis ingin membandingkan sistem proteksi yang sudah ada pada instalasi rumah pompa IPAM Karang Pilang 1, yaitu *gas accumulator* dengan *surge tank*. *Surge tank* ini juga akan di variasikan *Liquid High Level (LHL)* secara numerik.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini memodelkan salah satu pompa yang tiba-tiba mengalami kegagalan dengan menggunakan alat proteksi *gas accumulator* dan *surge tank*. Pemilihan alat proteksi *water hammer* akan mempengaruhi ketahanan sistem terhadap dampak *water hammer* yang timbul. Penggunaan *surge tank* dan *gas accumulator* pada daerah discharge rumah pompa akan mempengaruhi ketahanan komponen perpipaan dalam melawan lonjakan tekanan yang terjadi akibat efek *water hammer* ketika pompa gagal beroperasi. Ketinggian fluida pada *surge tank* sangat berpengaruh dalam meredam lonjakan tekanan yang terjadi. Sehingga aliran balik yang menuju pompa dapat diredam serta dampak *water hammer* dapat direduksi. Perbedaan ketinggian fluida pada *surge tank* dan penggunaan alat proteksi yang sudah terpasang pada instalasi dalam keadaan aktual yaitu *gas accumulator* menjadi acuan dalam pada penelitian ini.

Sedangkan belum pernah dilakukannya evaluasi ada pada instalasi rumah pompa IPAM Karang Pilang 1, menjadi landasan pemilihan instalasi dilakukannya penelitian ini.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk memperoleh hasil permodelan yang tepat, batasan yang digunakan antara lain:

1. Analisa dilakukan pada saat kondisi aliran *transient*
2. Jarak antara *gas accumulator* dan *surge tank* terhadap rumah pompa sama
3. *Surge tank* memiliki spesifikasi tinggi 6742 mm dan berdiameter 3000 mm

4. Variasi *liquid high level* dimulai dari 0 meter (100% tangki berisi udara bertekanan) hingga 6 meter.
5. Kesimpulan yang didapat hanya digunakan untuk studi kasus khusus di instalasi rumah pompa IPAm Karang Pilang 1

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pemodelan ini adalah:

1. Mengetahui fenomena *water hammer* yang terjadi pada sistem perpipaan transmisi air minum
2. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan menggunakan alat proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank*
3. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan dengan menggunakan variasi *liquid high level surge tank*, yaitu 0 meter, 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter, 5 meter, dan 6 meter.
4. Mempelajari perbandingan fluktuasi lonjakan tekanan antara *surge tank* dan *gas accumulator*.
5. Mengevaluasi jenis proteksi yang paling tepat untuk mereduksi *water hammer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari pelaksanaan kajian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh *gas accumulator* dan *surge tank* terhadap *water hammer* pada sistem perpipaan, sehingga dapat menanggulangi kerusakan sistem perpipaan ketika terjadi *water hammer*.
2. Memberikan sumbangan pemikiran kepada dunia industri sehingga dapat meningkatkan efisiensi biaya operasional perusahaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa bab yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian secara umum, sistem instalasi perpipaan yang diteliti, dasar teori *water hammer*, fenomena *water hammer*, penyebab dan pencegahan *water hammer*, *software* AFT Impulse 4.0, metode karakteristik, sistem proteksi *water hammer* yang digunakan serta kajian-kajian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini terdiri atas penjelasan tentang prosedur analisa dan data-data yang diperoleh dari rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 1 – PT PDAM Surya Sembada Surabaya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data instalasi jaringan perpipaan, analisa sistem pada kondisi *steady*, data grafik hasil simulasi untuk setiap skema pemodelan dan scenario operasi pompa serta perhitungan tebal pipa yang direkomendasikan untuk sistem perpipaan dalam menahan tekanan maksimum akibat efek *water hammer*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil analisa serta saran yang perlu diberikan dari hasil perhitungan dan pemodelan yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan.

LAMPIRAN

Berisi tentang data-data tambahan yang menunjang tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

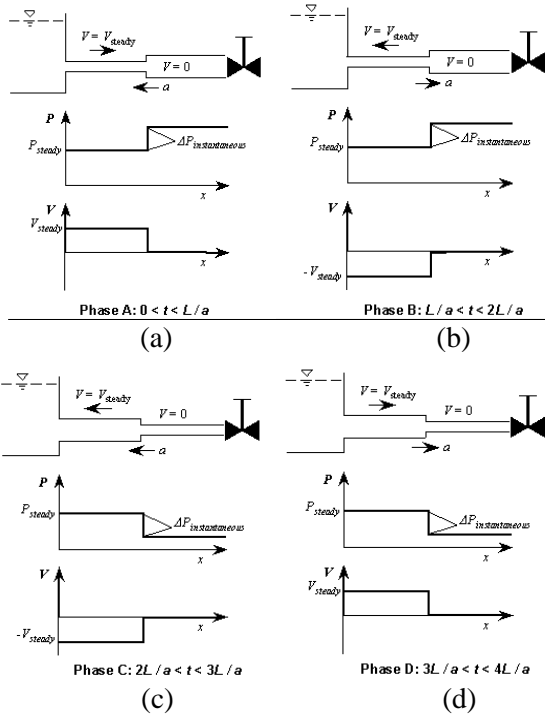
2.1 Dasar Teori *Water Hammer*

Water hammer adalah aliran fluida yang berhenti mendadak menimbulkan kenaikan tekanan yang sangat tajam sehingga menyerupai suatu pukulan. Fenomena keadaan *unsteady* ini dapat dikatakan sebagai perubahan energi kinetic dan energi tekanan yang bisa menjadi positif atau negatif. Efek negatif yang dihasilkan oleh fenomena tersebut diantaranya adalah merusak *valve*, menimbulkan getaran pada pipa, menggetarkan tumpuan pipa, menyebabkan kavitasi pada impeller pompa, dan memperpendek umur pemakaian peralatan. Perubahan tekanan bangkitan yang terlalu besar dapat menyebabkan pipa menjadi rusak atau pecah. Fenomena *water hammer* dapat terjadi hampir di setiap sistem instalasi perpipaan. Fenomena ini mempunyai dampak buruk apabila sistem perpipaan tersebut tidak memperhatikan akibat dari *water hammer*.

Fenomena dalam sistem perpipaan mempunyai dampak negatif dengan selang waktu tertentu, *water hammer* adalah fenomena dimana dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanggulangan yang tidak tepat terhadap dampak tersebut dapat mengakibatkan instalasi tersebut harus dimatikan (*shutdown*). Misalnya bila sebuah pompa sedang bekerja tiba-tiba mati (karena dimatikan atau listrik padam), maka aliran air akan terhalang impeller sehingga mengalami perlambatan yang mendadak. Disini terjadi lonjakan tekanan yang pada pompa dan pipa seperti peristiwa penutupan katup secara tiba-tiba. Lonjakan tekanan juga dapat terjadi jika pompa dijalankan dengan tiba-tiba atau katup dibuka secara cepat. Besarnya lonjakan atau jatuhnya tekanan karena benturan air, tergantung pada laju perubahan kecepatan aliran. Dalam hal katup tergantung pada kecepatan penutupan katup atau pembukaan katup dan dalam hal pompa tergantung cara menjalankan dan menghentikan pompa. Selain itu panjang pipa, kecepatan aliran dan karakteristik pompa, merupakan

faktor-faktor yang sangat menentukan besarnya lonjakan atau jatuhnya tekanan karena pukulan air.

2.2 Fenomena Water hammer



Gambar 2.1 Skema Fenomena Water hammer Setelah Penutupan Valve Pada (a) $0 \leq t \leq L/a$, (b) $L/a \leq t \leq 2L/a$, (c) $2L/a \leq t \leq 3L/a$, dan (d) $3L/a \leq t \leq 4L/a$

Tahap 1 fase A : $0 < t < L/a$

Tahap pertama terjadi setelah katup telah ditutup tetapi sebelum gelombang yang dihasilkan telah melakukan perjalanan sepanjang pipa dan mencapai *reservoir* (lihat gambar 2.1). Gelombang bergerak pada kecepatan a , bergerak dari katup ke reservoir (lihat gambar 2.1 Tahap A – gelombang awalnya

bergerak dari kanan ke kiri). Fluida dari *reservoir* dari bagian depan gelombang (disebelah kiri) belum terkena efek dari penutupan katup, dengan demikian kecepatan dan tekanan tetap *steady*. Sehingga sebelum gelombang mencapai *inlet reservoir*, fluida terus mengalir sepanjang pipa pada kecepatan V_{steady} meskipun katup ditutup. Bagian pipa ke kanan, dimana gelombang telah berlalu karena efek penutupan katup dan dengan demikian gerakan fluida telah berhenti (kecepatannya adalah nol). Energi kinetik fluida telah diubah menjadi energi potensial dengan meningkatkan tekanan fluida dan memperluas diameter pipa (pipa tereksansi). Gambar 2.1, tahap A, menunjukkan pada bagian kanan pipa mengembang karena efek flida yang berlebihan, dengan diameter asli di sebelah kiri.

Tahap 2 fase B : $L/a < t < 2L/a$

Tahap kedua terjadi setelah gelombang telah tercermin dari *inlet reservoir*, gelombang bergerak kembali mnuju katup. Gelombang masih bergerak pada kecepatan a dan fluida bergerak dari reservoir ke katup (lihat gambar 2.1, Tahap B). Fluida *reservoir* dari bagian depan gelombang (disebelah kiri) terkena efek dari penutupan katup. Selanjutnya, tekanan tinggi yang dibangun selama tahap A mengakibatkan kelebihan cairan dalam pipa. Selama tahap B cairan ini dikeluarkan ke satu-satunya tempat yang bisa menerimanya yaitu *reservoir upstream*. Dengan demikian aliran balik terjadi untuk mengembalikan tekanan ke tingkat *steady*. Fluida *downstream* dari bagian depan gelombang (disebelah kanan) belum sampai ke bagian *upstream reservoir*, sehingga fluida tetap pada tekanan tinggi dan kecepatan nol.

Tahap 3 fase : $2L/a < t < 3L/a$

Tahap ketiga terjadi setelah gelombang telah tercermin telah tercermin dari *inlet reservoir* yang bergerak kembali ke *reservoir* (lihat gambar 2.1, Tahap C). Gelombang masih bergerak pada kecepatan a . Pipa berusaha untuk membangun keseimbangan dengan mengalirkan fluida kembali ke *reservoir* untuk mengurangi

tekanan tinggi. Selama tahap C tekanan turun dibawah nilai stabil. Penurunan tekanan besarnya sama dengan kenaikan tekanan pada tahap A, tetapi berlawanan tanda. Gelombang melewati pipa selama fase C, gerakan fluida berhenti dan tekanan berkurang.

Tahap 4 fase D : $3L/a < t < 4L/a$

Tahap keempat terjadi setelah gelombang telah tercermin dari *inlet reservoir* untuk kedua kalinya dan bergerak kembali menuju katup (lihat gambar 2.1, Tahap D). Fluida *upstream* dari bagan depan gelombang (di sebelah kiri) telah kembali ke nilai-nilai kecepatan dan tekanan yang stabil. Fluida *downstream* dari bagian depan gelombang (di sebelah kanan) masih pada tekanan rendah. Tahap keempat terjadi setelah gelombang tercermin dari *inlet reservoir* untuk kedua kalinya, perjalanan kembali ke katup dan tercermin dari katup, dan sekarang bergerak kembali ke *reservoir* (lihat gambar 2.1, Tahap C). Gelombang masih bergerak pada kecepatan a . Setelah gelombang mencapai katup untuk kedua kalinya, keempat fase ini akan berulang. Jika pipa tidak ada gesekan, gerakan gelombang akan berlanjut tanpa henti. Jika terdapat efek gesekan pada pipa maka kecepatan gelombang akan berkurang dari waktu ke waktu dan gerak akhirnya berhenti sama sekali

2.3 Penyebab *Water hammer*

Pada sistem transportasi air hampir tidak pernah dalam kondisi *steady*. Tekanan dan arus aliran yang berubah-ubah sebagai akibat dari perubahan permintaan air, pemadaman listrik, kerusakan peralatan dan lain- lain. Perubahan kecepatan aliran tersebut dapat lebih tinggi maupun lebih rendah dari kecepatan aliran mula-mula. Perubahan kecepatan aliran air yang sangat cepat dapat menimbulkan energi tekanan yang besar atau biasa disebut *water hammer*.

Penyebab *water hammer* sangat banyak, namun secara umum ada 4 (empat) penyebab terjadinya *water hammer* yaitu:

1. Pengoperasian pompa.
Pengoperasian pompa dapat mengakibatkan peningkatan tekanan secara mendadak dan akhirnya menyebabkan fenomena *water hammer*.
2. Kegagalan pompa beroperasi.
Kegagalan pompa beroperasi bisa disebabkan pemadaman listrik, rusaknya pompa dan lain-lain. Kegagalan pompa dapat menyebabkan turunnya tekanan di daerah *discharge* pompa, penurunan tekanan tersebut diikuti dengan fluktuasi tekanan yang berosilasi sehingga mengakibatkan fenomena *water hammer*.
3. Penutupan dan pembukaan *valve*.
Penutupan dan pembukaan *valve* dapat merubah kecepatan aliran fluida dalam pipa dan perubahan kecepatan tersebut dapat lebih tinggi maupun lebih rendah dari kecepatan awal fluida. Perubahan kecepatan aliran tersebut akan menyebabkan *water hammer*.
4. Pengoperasian yang tidak benar.
Pengoperasian sistem perpipaan yang tidak benar mengakibatkan perubahan tekanan mendadak yang menimbulkan *water hammer*.

2.4 Estimasi momen inersia *impeller* pompa dan motor penggerak

Perhitungan untuk estimasi momen inersia *impeller* pompa beserta air yang tertahan pada *casing* pompa adalah sebagai berikut.

$$I_p = 1,5(10^7) \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0,9556}.$$

Sedangkan perhitungan estimasi momen inersia untuk motor penggerak adalah sebagai berikut.

$$I_m = 118 \left(\frac{P}{N} \right)^{1,48}.$$

Keterangan:

I_p = momen inersia untuk pompa dan air pada *casing* pompa (kg.m²)

I_m = momen inersia untuk motor penggerak (kg.m²)

P = daya motor (kW)

N = putaran motor (rpm)

2.5 Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran suatu *fluida* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu aliran *laminar* dan aliran *turbulen*. Aliran *laminar* yaitu partikel-partikel *fluida* yang bergerak secara teratur mengikuti lintasan yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan yang sama. Aliran ini terjadi bila kecepatan kecil dan kekentalan yang besar. Sedangkan aliran disebut *turbulen* bila tiap partikel *fluida* bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu pipa. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan *fluida* yang kecil.

Koefisien gesekan untuk suatu pipa silindris merupakan *Bilangan Reynold (Re)*. Untuk menentukan tipe aliran apakah *laminar* atau *turbulen* dapat digunakan rumus di bawah ini :

$$Re = \frac{\bar{V} \cdot D}{\nu}$$

Dimana :

Re = bilangan *Reynold*

\bar{V} = kecepatan aliran *fluida* (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

ν = *viskositas kinematik* zat cair (m²/s)

Bila : $Re \leq 2300$, aliran bersifat *laminar*

$2300 \leq Re \leq 4000$, aliran bersifat *transisi*

$Re \geq 4000$, aliran bersifat *turbulen*

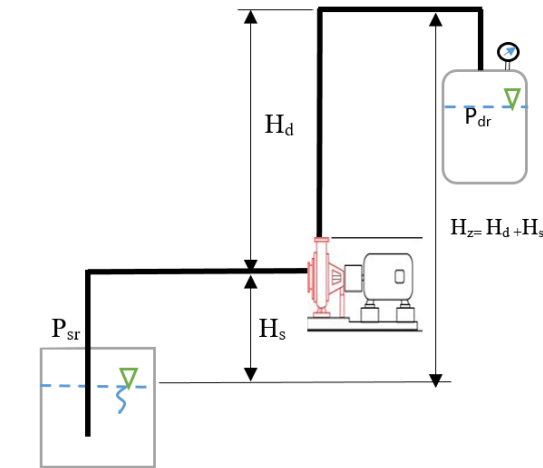
Aliran *transisi* merupakan dimana aliran dapat bersifat *laminar* atau *turbulen* tergantung dari kondisi pipa dan aliran.

2.6 Head Effektif Instalasi Pompa

Merupakan besarnya *head* yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen yang ada, diantaranya adalah karena perbedaan tekanan, perbedaan kecepatan, perbedaan kerugian (kerugian mekanis, volumetris, dinamis dan kerugian listrik). Persamaan *head* instalasi sebagai berikut :

$$H_{eff} = \sum H_{st} + \sum H_{din}$$

$$H_{eff} = \left(\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d - H_s) \right) + \left(\left(\frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g} \right) + \sum H_{LT} \right)$$



Gambar 2.2 Head Efektif Instalasi

2.6.1 Head Statis

Adalah perbedaan tinggi permukaan fluida pada bagian hisap dengan bagian tekan. *Head statis* tidak dipengaruhi oleh debit, hanya pada perbedaan tekanan dan ketinggian.

$$\sum H_{st} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d + H_s)$$

Dimana :

H_{st} = *Head Statis* total (m)

P_1 = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)

P_2 = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

γ = berat jenis *fluida* $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

H_d = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

H_s = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

Head statis terdiri dari :

1. *Head tekanan (Pressure Head)*

Merupakan energi yang terdapat di dalam *fluida* akibat perbedaan tekanan antara *discharge reservoir* dan *suction reservoir*.

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Dimana :

H_p = *Head statis* total (m)

P_1 = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)

P_2 = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

γ = berat jenis *fluida* $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

2. *Head ketinggian (Elevation Head)*

Merupakan perbedaan ketinggian dari permukaan *fluida* pada sisi *discharge reservoir* dan *suction reservoir* dengan acuan garis sumbu tengah pompa.

$$H_z = H_d + H_s$$

Dimana :

H_z = *Head elevasi* (m)

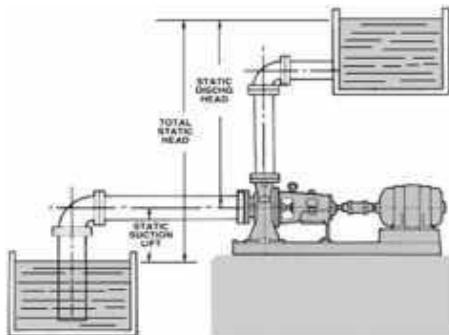
H_d = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

H_s = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

Terdapat dua macam ketinggian *head* instalasi , yaitu:

a. *Suction Lift*

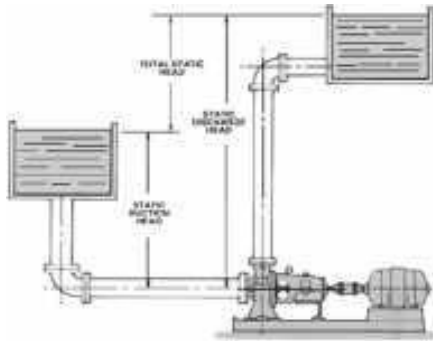
Suction lift adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari permukaan *fluida* yang harus dipompakan terhadap garis sumbu tengah pompa. *Suction Lift* diperoleh mulai dari garis tengah sumbu pompa sampai permukaan sumber suplai (*suction tank*). Gambar 2.3 merupakan contoh instalasi *suction Lift*. Nilai $(H_d - H_s)$ bernilai positif (+), karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih rendah dari sumbu tengah pompa.



Gambar 2.3 Instalasi *Suction Lift*

b. Suction Head

Suction head adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari garis sumbu tengah pompa hingga ketinggian *fluida* yang dipompakan. *Suction head* diperoleh mulai dari permukaan sumber suplai (*suction tank*) yang berada di atas garis tengah sumbu pompa. Gambar 2.4 merupakan contoh instalasi *suction head*. Nilai $(H_d - H_s)$ bernilai negatif (-), karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih tinggi dari sumbu tengah pompa.



Gambar 2.4 Instalasi *Suction Head*

2.6.2 Head Dinamis

Head dinamis adalah *head* yang terdiri dari *velocity head* dan *head loss*. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$\sum H_{din} = \left(\frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2.g} \right) + \sum H_{LT}$$

Dimana :

$$\sum H_{din} = \text{Head dinamis (m)}$$

$$\sum H_{LT} = \text{kerugian tinggi tekan (m)}$$

$$\bar{V}_d = \text{kecepatan aliran discharge (m/s)}$$

\bar{V}_s = kecepatan aliran *suction* (m/s)
 g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

➤ Head dinamis terdiri dari :

1) **Velocity Head**

adalah *head* yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan yang keluar dari *suction reservoir* dan masuk ke dalam *discharge reservoir*. Velocity head ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_v = \frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g}$$

Dimana :

\bar{V}_d = kecepatan aliran *discharge* (m/s)
 \bar{V}_s = kecepatan aliran *suction* (m/s)
 g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2) **Total Kerugian Tinggi-Tekan (*Head Loss Total*)**

Head Loss Total (total kerugian tinggi tekan) merupakan jumlah suatu kerugian yang dialami aliran *fluida* selama bersirkulasi dimana kerugian itu tergantung pada geometri penampang saluran dan parameter-parameter *fluida* serta aliran itu sendiri. Kerugian tinggi tekan (*Head loss*) dapat dibedakan atas, kerugian dalam pipa (*major losses*) dan kerugian pada perubahan geometri (*minor losses*). Untuk persamaan total kerugian tinggi tekan adalah :

$$\sum H_{LT} = H_l + \sum H_{lm}$$

$$\sum H_{LT} = \left(f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \right) + \left(K \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

2.a) **Head Loss Mayor**

Kerugian aliran *fluida* yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara *fluida* dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran *fluida* (kerugian kecil).

Kerugian *head* akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari rumus berikut :

Persamaan Darcy – Weisbach

$$H_l = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

Dimana :

H_l = kerugian *head* karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

D = diameter pipa (m)

\bar{V} = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = gravitasi bumi (9,81 m/s²)

Untuk aliran *laminar*, faktor gesekan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$f = \frac{64}{Re}$$

Untuk aliran *turbulen*, faktor gesekan dibedakan menjadi :

- a. Untuk pipa halus, hubungan antara bilangan *reynold* dengan faktor gesekan :

$$\text{Blasius : } f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

untuk $3000 \leq Re \leq 100000$

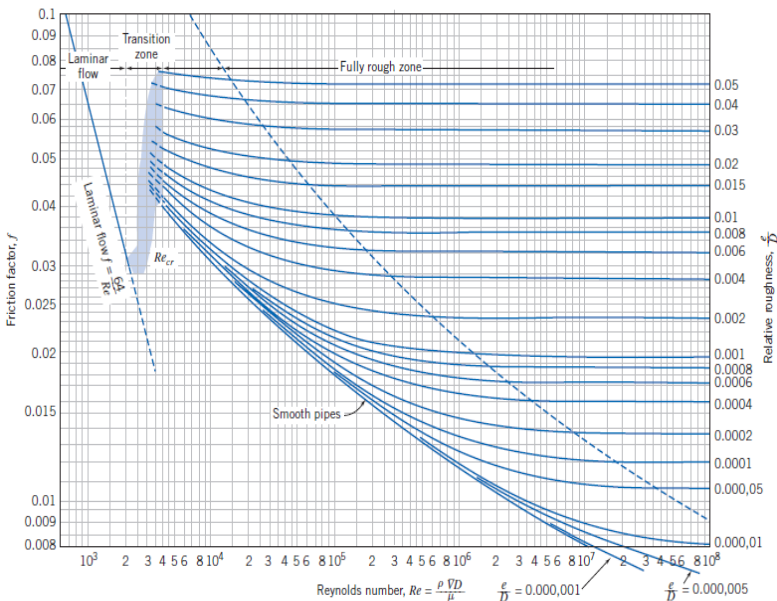
- b. Untuk pipa kasar dan halus , hubungan antara bilangan *reynold* dengan faktor gesekan :

Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Untuk menggunakan persamaan ini dilakukan dengan menggunakan iterasi yang membuat harga f dapat lebih akurat. Adapun cara lain untuk mempermudah mencari harga *friction factor* (f), dapat menggunakan *moody diagram* dengan fungsi *reynold number* (Re) dan e/d terhadap *friction factor* (f).

Persamaan *Colebrook-White* berlaku untuk seluruh kisaran aliran *non laminar* dalam *diagram moody*.



Gambar 2.5 Moody Diagram

(Sumber : Fox and McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*)

2.b) **Head Loss Minor**

Selain kerugian *head loss mayor*, juga terdapat kerugian energi karena perubahan menampang pipa, entrance, sambungan, elbow, katup, dan asesoris perpipaan lainnya yang disebut dengan kerugian kecil (*Head Loss Minor*). Besarnya kerugian minor, yaitu :

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Dimana :

\bar{V} = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

K = koefisien kerugian (minor losses) pipa

Dimana harga K dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$K = f \cdot \frac{L_e}{D}$$

Dimana harga K dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

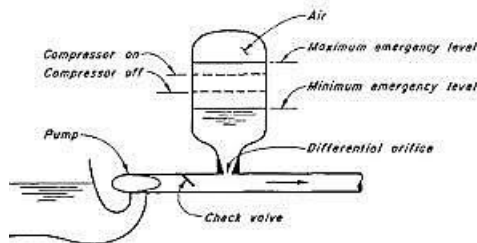
2.7 **Proteksi Water hammer**

Proteksi atau perlindungan terhadap sistem perpipaan dari *water hammer* merupakan sesuatu yang perlu dilakukan untuk menjaga agar tidak terjadi kerusakan pada komponen penyusunnya. Ada beberapa alternatif yang dapat dilakukan untuk memberikan proteksi terhadap terjadinya *water hammer*. *Gas accumulator* dan *surge tank* merupakan alternatif yang biasa digunakan, dasar pemilihan *surge tank* dan *gas accumulator* sebagai alternatif proteksi adalah sebagai berikut :

- *Gas accumulator* dan *surge tank* merupakan alat proteksi *water hammer* yang dapat mengontrol tekanan maksimum dan minimum
- *Gas accumulator* dan *surge tank* memiliki respon yang paling baik terhadap perubahan tekanan dari pada alat proteksi *water hammer* lainnya.

2.7.1 Teori Gas Accumulator

Gas accumulator adalah alat proteksi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya fluktuasi tekanan yang terjadi dalam sistem perpipaan akibat adanya aliran yang terhenti secara mendadak. *Gas accumulator* memiliki pengaturan jumlah air dan udara yang harus ada dalam tangki, ketika kondisi di dalam tangki kekurangan air maka *release valve* akan terbuka sehingga air di dalam tangki akan naik sedangkan apabila kondisi di dalam tangki kelebihan air maka udara diinjeksikan ke dalam tangki sehingga jumlah udara dan air di dalam tangki tetap terjaga. Gambar *gas accumulator* secara umum dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 2.6 *Gas Accumulator*

Salah satu tipe dari *gas accumulator*, yaitu *bladder accumulator*. Cara kerjanya adalah ketika tekanan naik, air akan masuk ke dalam *gas accumulator* sehingga *bladder* akan terkompresi dan menyebabkan udara bertekanan dibuang ke atmosfer. Lalu tekanan akan turun sepersekian detik sehingga *bladder* dalam kondisi ekspansi dan mendorong air untuk keluar dari *gas accumulator*. Proses kompresi dan ekspansi akan terjadi

terus menerus hingga energi dari gelombang semakin mengecil dan hilang. Selain itu, *poppet valve* juga berfungsi mereduksi gelombang tekanan fluida akibat *water hammer* karena memiliki *friction factor* yang besar sehingga gelombang tekanan tidak langsung menghantam *bladder*.

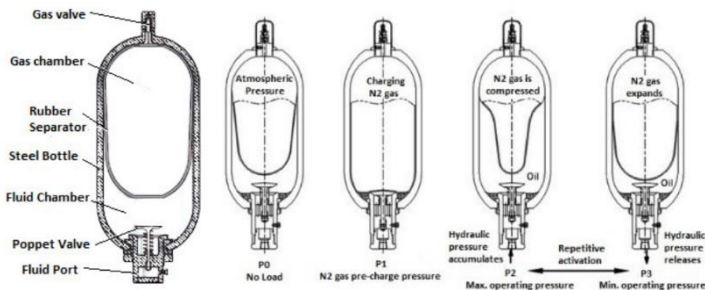
Proses kompresi dan ekspansi di dalam *gas accumulator* berlangsung sesuai hukum Boyle-Mariotte, yaitu:

$$P_0 \cdot V_0^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$$

Keterangan:

- P = tekanan *gas accumulator* (bar)
 V = volume gas dalam *gas accumulator* (m³)
 n = politropik konstan.

Berikut merupakan gambar cara kerja dari *gas accumulator* mulai saat tidak ada beban hingga terjadinya proses kompresi dan ekspansi sampai energi tekanan berkurang.



Gambar 2.7 *Bladder Gas Accumulator*

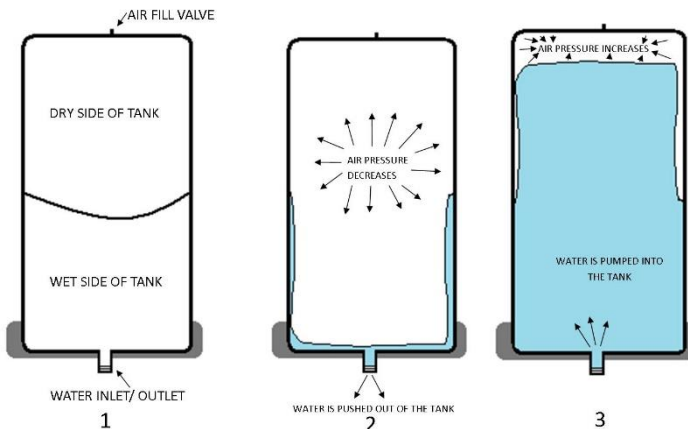
2.7.2 Teori *Surge tank*

Surge tank (*reservoir tambahan*), yaitu alat proteksi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya fluktuasi tekanan yang terjadi dalam sistem perpipaan akibat adanya aliran yang berhenti tiba-tiba. *Surge tank* digunakan untuk melindungi instalasi perpipaan dari gelombang tekanan yang terjadi akibat aliran balik. Paling

sering *surge tank* digunakan dalam pembangkit dengan ukuran pipa besar di aliran relatif tinggi, namun juga dapat diterapkan untuk berbagai sistem perpipaan lainnya, seperti pengolahan air untuk manufaktur, industri otomotif, pengolahan air limbah, bahkan pengolahan air bersih.

Fungsi *surge tank* :

- Mengurangi kenaikan tekanan akibat *water hammer*
- Memenuhi tambahan debit
- Menampung air saat beban tiba-tiba turun



Gambar 2.8 *Surge tank*

Surge tank digunakan untuk mengurangi tekanan yang berlebihan maupun menambah tekanan apabila pada sistem kekurangan tekanan. Apabila pada sistem kelebihan tekanan maka tekanan tersebut akan ditransmisikan kedalam *surge tank*, sedangkan apabila pada sistem kekurangan tekanan akan memberikan kekurangan tekanan dengan cara mensuplai fluida kedalam sistem tersebut.

2.8 Perangkat Lunak AFT Impulse 4.0

AFT Impulse merupakan program grafis untuk pemodelan *water hammer* dan *surge transient* pada instalasi perpipaan yang menghubungkan dari proses sederhana sampai proses yang kompleks untuk membuat model instalasi *water hammer*. Program ini akan menghitung tekanan *transient* pada sistem perpipaan dengan menggunakan iterasi dan metode matriks. Sedangkan metode karakteristik digunakan untuk memecahkan massa *transient* dan persamaan momentum pada aliran di dalam pipa.

Pemodelan dengan menggunakan AFT Impulse ini adalah sebagai alat bantu untuk melihat dampak yang ditimbulkan akibat fenomena aliran *transient* yang terjadi pada sistem perpipaan sehingga mampu dilakukan pertimbangan untuk mengambil keputusan di lapangan. Juga sebagai salah satu pendekatan yang bisa dijadikan dasar penilaian terhadap interaksi antar komponen perpipaan yang ada, dengan demikian bisa dilakukan pencegahan untuk menghindari potensi dampak yang ditimbulkan oleh fenomena *water hammer* dan juga sistem *transient* yang tidak diinginkan lainnya.

2.9 Penelitian Terdahulu

2.9.1 Akbar, Marzal Taufiq (2009)

Melakukan analisa mengenai simulasi sistem proteksi *water hammer* pada transmisi air minum di PDAM Probolinggo. Pada penelitiannya Akbar membandingkan lonjakan tekanan yang terjadi ketika fenomena *water hammer* terjadi dengan 3 variabel, yaitu tanpa alat proteksi, dengan alat proteksi *surge tank*, dan dengan alat proteksi *gas accumulator*. Pipa yang di analisa adaah pipa *discharge* setelah *check valve*. Dari hasil simulasinya yang menggunakan *software* AFT Impulse 4.0 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Tekanan maksimum tanpa penggunaan alat proteksi pada sisi *inlet* pipa 1758.23 kPa sedangkan pada bagian *outlet* 1456.84 kPa

- Tekanan maksimum dengan menggunakan *surge tank* pada sisi *inlet* bertekanan 1310.35 kPa dan 1239.65 kPa pada sisi *outlet*
- Tekanan maksimum dengan alat proteksi *gas accumulator* pada sisi *inlet* yaitu 955.55 kPa dan pada sisi *outlet* bertekanan 872.59 kPa

2.9.2 Fitriani (2012)

Melakukan analisa yang sama seperti Akbar (2009) dengan studi kasus pada Bandara internasional Juanda dengan skenario pompa mengalami *trip*. Hasil simulasi dengan menggunakan *software* AFT Impulse 4.0 pada pipa setelah pompa menghasilkan hasil sebagai berikut :

- Tekanan maksimum pada sisi *inlet* tanpa menggunakan alat proteksi, menggunakan *surge tank* dan menggunakan *gas accumulator* berturut-turut adalah 1581.582 psia, 426.2572 psia, 1543.469 psia
- Tekanan maksimum pada sisi *outlet* saat tidak menggunakan sistem proteksi, saat menggunakan *surge tank* dan menggunakan *gas accumulator* masing-masing yaitu 1579.744 psia, 421.8176 psia dan 1541,9 psia

2.9.3 Ferdiansyah,Pangki (2017)

Melakukan evaluasi unjuk kerja sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* (studi kasus rumah pompa IPAM Karang Pilang 3) dengan variasi volume pada *gas accumulator* dan *liquid high level* pada *surge tank*. Berikut adalah hasil fluktuasi tekanan pada pipa *interconnecting* :

- lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi volume *gas accumulator*. Terlihat bahwa variasi volume 55 liter, 35 liter dan 25 liter memiliki lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) sebesar 9,3 bar, 9,1 bar dan 8,9 bar pada saat detik ke-0.1. Meskipun variasi volume 55 liter memiliki lonjakan tertinggi tetapi fluktuasi tekanan lebih stabil dari pada variasi yang lain. Semua

variasi volume mengalami penurunan secara bertahap dan terjadi beberapa lonjakan kembali pada waktu tertentu.

- lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* antara *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* dan volume *gas accumulator* 55 liter. Terlihat bahwa *liquid height level* 5 meter menunjukkan lonjakan tekanan tertinggi dengan tekanan maksimum dan minimum sebesar 23,42 bar pada saat detik ke-0,19 dan 1,13 bar pada saat detik ke-0,47, sedangkan volume *gas accumulator* 55 liter sebesar 9,7 bar pada saat detik ke 0,09 dan 5,75 bar pada saat detik ke-0,07. Kedua variasi mengalami penurunan tekanan secara bertahap dan terjadi beberapa lonjakan kembali pada detik tertentu.

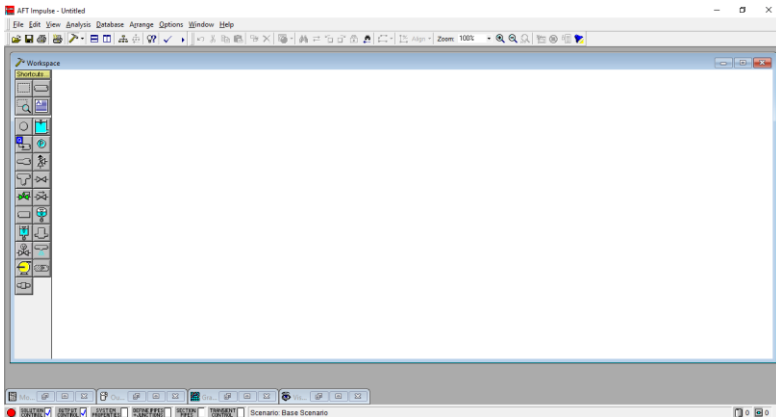
BAB III METODOLOGI

3.1 Proses Pemodelan Sistem Perpipaan

Penelitian ini mengacu pada instalasi rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya yang menuju ke daerah Wonokitri yang letak *reservoir*-nya lebih tinggi dari *reservoir* di Karang Pilang. Data awal pemodelan ini adalah skema gambar pompa beserta karakteristik perpipaan yang akan dimodelkan, seperti halnya karakteristik pompa, spesifikasi pipa, spesifikasi *junction*, spesifikasi fluida, dan spesifikasi alat proteksi *water hammer*.

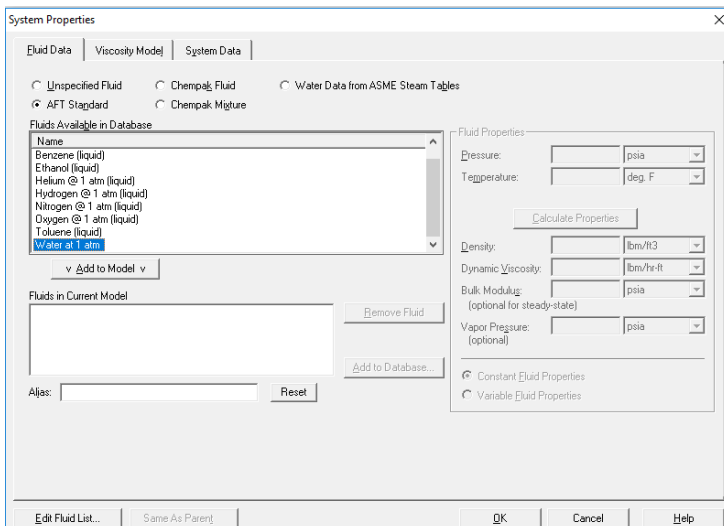
Software yang digunakan untuk mensimulasikan pemodelan yang akan dibuat dalam penelitian ini dengan metode komputasi, yaitu dengan *software* AFT Impulse 4.0. Kelebihan dari *software* ini adalah lebih praktis, biaya yang relatif murah, hasil yang diperoleh lebih cepat dan tidak memerlukan tenaga sehingga lebih efisien. Namun metode komputasi ini juga memiliki kekurangan, yaitu tetap memerlukan tinjauan dan komparasi dari hasil eksperimen (*real*) agar dihasilkan data yang *valid*.

- a. Buka *software* AFT Impulse dan akan muncul tampilan awal sebagai berikut:



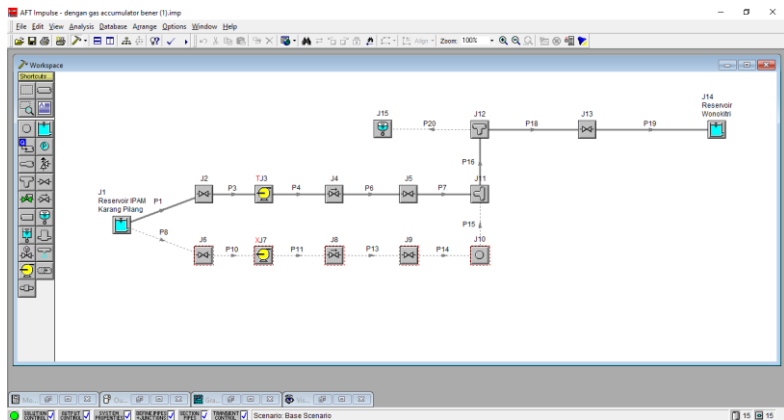
Gambar 3.1 Tampilan Awal *software* AFT Impulse 4.0

- b. Klik *system properties* yang belum tercentang pada kolom kiri bawah, pilih AFT Standard dan pilih fluida yang dibutuhkan lalu klik *Add to model* dan isi temperatur dari fluida. Setelah itu klik *calculate properties* dan klik OK.



Gambar 3.2 Menu *System Properties*

- c. Pilih *junction* yang digunakan di sistem perpipaan seperti *reservoir*, *valve*, pompa, *check valve*, *tee*, *branch*, dan *gas accumulator* dengan cara *drag* ke layout. Setelah itu, klik *icon pipe drawing tool* dan klik dari *junction* satu ke yang lain untuk membuat pipa



Gambar 3.3. Permodelan Sistem Perpipaan

- d. Isi spesifikasi peralatan dengan cara *double-click* ikon masing-masing *junction*
- Reservoir
Untuk reservoir, spesifikasi yang diisi cukup pada tab “reservoir model” yaitu *reservoir surface elevation* dan *surface pressure* dan klik OK.

Reservoir Specifications

Number: 11

Name: Reservoir

Database List:

Copy Data From Jgt...:

OK Cancel Jump... Help

Reservoir Model | Pipe Depth and Loss Coefficients | Transient | Optional | Notes | Status

Reservoir Surface Elevation: 25 meters

Surface Pressure: 1 atm

Temperature: deg. F

Density: 62.16402 lbm/ft3

Note: All pipes are currently specified as zero depth

Gambar 3.4. Menu Spesifikasi Reservoir

- Valve
Untuk valve, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “loss mode” klik handbook data dan pilih tipe valve yang digunakan dan klik OK.

Valve Specifications

Number: 2
 Name: Valve
 Database List:
 Copy Data From Jgt...
 Upstream Pipe: 1
 Downstream Pipe: 2
 Elevation: 1050 mm
 Inlet: 1050 mm
 Outlet: ☒ Same as Inlet

Loss Model | Transient | Optional | Notes | Status

Valve Data Source
☒ Handbook Data
 Butterfly, PO=100 (C)
☐ User Specified

Loss Model
☐ Cv (Constant)
☒ K Factor (Constant)

Cv Data
☒ User Specified
 From % Open Table (on Optional tab)

Basis Area for Loss Model
 Default - Upstream Pipe
 K: 1.215
 Base Area from Pipe 1: Unspecified

Exit Valve (optional)
☐ Head (HGL) ☐ Pressure
 Exit Pressure:

Handbook Database List Definitions
 Abbreviations:
 D= Diameter AR= Area Ratio
 PO= Percent Open deg.= degrees
 (C)= Crane
 (I)= Idelchik
 (M)= Miller

This type of generic valve requires a base diameter for loss factor calculation. Basis area has not yet been specified.

Gambar 3.5 Menu Spesifikasi Valve

- Pompa

Untuk pompa, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “pump model” klik pump curve, lalu enter curve data. Masukkan data dari grafik performa pompa ke tabel dan klik OK. Pada tab “transient” lalu pilih transient model. Pada tab “optional” lalu pilih *number of pumps at location* lalu pilih sesuai dengan tipe pengoperasian pompa, dan pada *special condition* isi sesuai dengan kondisi pompa. Lalu klik OK.

Pump Specifications

Number: 3
 Name: Pump
 Database List:
 Copy Data From Jgt.:
 Upstream Pipe: 2
 Downstream Pipe: 3
 Elevation:
 Inlet: 1050 mm
 Outlet:
☒ Same as Inlet
 NPSH Reference:
 OK
 Cancel
 Jump...
 Help

Pump Model | Variable Speed | Transient | Optional | Notes | Status

Pump Model
☒ Pump Curve [Enter Curve Data...](#)
☐ Volumetric Flow Rate Fixed
☐ Mass Flow Rate Fixed

☐ Do Not Allow Backwards Rotation
☐ Check Valve at Discharge (No Backflow Allowed)
 Forward Velocity to Close Valve:
 Delta Pressure/Head to Re-Open:
☒ Head
☐ Pressure

Max X-Axis Value: 50 [Update Graph](#)

Head Rise | NPSHR | Efficiency | Parameters and Constants

☐ Submerged Pump (optional)
☐ Head (HGL) ☐ Pressure
 Suction Pressure:

Gambar 3.6 Menu Spesifikasi Pompa

Pump Configuration

Configuration Method
☒ Simple ☐ Multiple Configurations

Flow Parameter
☒ Volumetric ☐ Mass
 liter/sec

Pressure/Head Parameter
☒ Head ☐ Pressure
 meters

Efficiency/Power
☐ Efficiency ☒ Power
 kW

Pump Data | Configuration Data | Composite Graph | Pump Graph | Power Graph

Raw Data: [Optional Data](#)

Data Point	Q (liter/sec)	dH (meters)	NPSHR (meters)	Power (kW)
1	0	60.5		320
2	83.3334	60		320
3	166.6667	59		340
4	250	58.2		360
5	333.3333	57.5		380
6	416.6667	56.8		390
7	500	55.2		401
8	583.3333	54		420
9	666.6667	52.7		440
10	750	51.3		450
11	833.3333	49.5		475
12	916.6667	47.6		500
13	1000	45.8		510
14	1030	44.2		510
15	1083.333	43.7		520

[Edit Table](#)

Curve Fitting
 Curve Fit Type: Polynomial
 Curve Fit Order: 2
☒ Head Rise
☐ Net Positive Suction Head Required
☒ Power
[Generate Curve Fit Now](#)

$$\Delta H = a + bQ + cQ^2 + dQ^3 + eQ^4$$

PUMP CURVE	
a	59.99218
b	-2.525411E-03
c	-1.230911E-05
NPSH	
	None
EFFICIENCY	
a	313.6573
b	0.171526

OK Cancel Help

Gambar 3.7 Tabel Data Grafik Performa Pompa

Pump Specifications

Number: 3 Upstream Pipe: 3
 Name: Pump Downstream Pipe: 4
 Database List: Elevation
 Copy Data From Jgt... Inlet: 1050 mm
 Outlet: ☒ Same as Inlet NPSH Reference:

Pump Model | Variable Speed | **Transient** | Optional | Notes | Status

Transient Model: Trip With Inertia and No Back Flow or Reverse Speed

Transient Special Condition:
☒ None
☐ Ignore Transient Data

Initiation of Transient:
☐ Time ☐ Dual Event Cyclic
☒ Single Event ☐ Dual Event Sequential

Pump Speed: 985 rpm
 Rotating Inertia of Pump: 110 kg-m2
 Motor and Liquid:
 Four Quad Data Source: User Specified
 Number of Data Points for Four Quad Data:
☒ $\theta = \pi + \tan^{-1} \frac{y}{x}$ ☐ $\theta = \tan^{-1} \frac{x}{y}$

Trip Event Inertial Data

Transient Data
 Torque Units: N-m

Data Point	Time (seconds)	% Speed of Steady State
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Edit Table Show Graph...

Transient

Gambar 3.8 Pemilihan Model Transient pada Pompa

Pump Specifications

Number: 3 Upstream Pipe: 2
 Name: Pump Downstream Pipe: 3
 Database List: Elevation
 Copy Data From Jgt... Inlet: mm
 Outlet: ☒ Same as Inlet NPSH Reference:

Pump Model | Variable Speed | **Transient** | Optional | Notes | Status

Initial Guess:
☒ Head (HGL) ☐ Pressure
 feet

Design Factor:
 Pump Added Pressure/Head: 1

Number of Pumps at This Location:
☒ One Pump Number: 1
☐ Parallel
☐ Series

Workspace Icon:
☒ Use Workspace Default for Size
 Custom Icon Size:

Display on Workspace:
☒ Junction Number
☐ Junction Name

Special Condition:
☒ None
☐ Pump Off No Flow
☐ Pump Off With Flow Through

Viscosity Correction:
☐ Use Viscosity Correction
Head Correction
☒ Assume Calculated Flow Is At BEP
☐ Base Correction On Flow Data At BEP

Flow Rate At Best Efficiency Point:
☐ Calculated
☒ User Specified
 gal/min

Gambar 3.9 Pemilihan Kondisi Pompa

- **Check Valve**
Untuk *check valve*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “valve model” klik K Factor dan isi *friction factor*. Isi *forward velocity of close valve* dan *delta pressure*. Lalu klik OK.

Gambar 3.10 Menu Spesifikasi Check Valve

- **Branch**
Untuk *branch*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet dan klik OK.

Branch Specifications

Number: 10

Name: Branch

Database List:

Copy Data From Jgt...

Elevation: 1050 mm

OK Cancel Jump... Help

Loss Coefficients | Transient | Optional | Notes | Status

Pipe	Dir.	K - Flow into pipe	K - Flow out of pipe	Distance above Elevation
14	In	0	0	0
15	Out	0	0	0

Make All Pipes Same K Factor meters

Gambar 3.11 Menu Spesifikasi Branch

- Tee
Untuk *tee*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, dan pilih pipa yang dihubungkan dan klik OK.

Tee/Wye Specifications

Number: 11

Name: Tee or Wye

Database List:

Copy Data From Jgt...

Elevation: 1050 mm

OK Cancel Jump... Help

Tee/Wye Model | Optional | Notes | Status

Loss Model:
☒ Simple (no loss)
☐ Detailed

Angle: 90 Degrees (15-165)

Arrangement:
 << Rotate Left a: P16
 c: P7
 b: P15
 Rotate Right >>

Type:
☒ Tee (Sharp, straight run, $A_a = A_b, A_a > A_c$)
☐ Tee (Rounded, straight run, $A_a = A_b, A_a > A_c$)
☐ Tee (Area Change, $A_b = A_a + A_c$)
☐ Symmetrical Wye ($A_a + A_b = A_c$)

Keep Arrangement in Sync With Icon

Note: Arrange pipes and set angle with respect to the image. Image rotation is for convenience only and has no effect on results.

Gambar 3.12 Menu Spesifikasi Tee

- *Gas Accumulator*

Untuk *gas accumulator*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “gas accumulator” yang perlu diisi adalah *polytropic constant, reference gas volume, reference gas volume*. Lalu klik OK.

Gas Accumulator Specifications

Number: 15

Name: Gas Accumulator

Database List:

Copy Data From Jgt...

Elevation: 1050 mm

OK

Cancel

Jump...

Help

Gas Accumulator | Pipes | Optional | Notes | Status

Polytropic Constant: 1.4

Gas Volume

☐ Actual Initial Volume ☒ Volume at Specified Pressure

Reference Gas Volume: 26.5 m³

Reference Gas Pressure: 10.5 bar

Maximum Volume (optional):

Minimum Volume (optional):

Note: If no Maximum or Minimum Volume is entered, the gas volume will not be limited.

☐ Model Flow Restrictor

Cd Inflow:

Cd Outflow:

Restrictor Flow Area:

☐ Model Short Connector Pipe

Pipe Inner Diameter:

Pipe Area:

Pipe Length:

Elevation Change:

Friction Factor:

Gambar 3.13 Menu Spesifikasi *Gas Accumulator*

- **Surge Tank**
Pada *surge tank* spesifikasi yang harus diisi adalah *elevation* inlet, tekanan didalam udara didalam tangki, dan luas penampang tangki. Sedangkan pilihan untuk memilih *LHL* berada pada kolom *optional*.

Surge Tank Specifications

Number: 25
Name: Surge Tank
Database List:
Copy Data From Jgt:
Elevation: 1050 mm

Tank Model: Pipes Transient ☒ Optional Notes Status

Surface Pressure: 5.3 bar
Tank Height (optional): 5.7 meters
Note: If you enter a Tank Height, then liquid will spill over the top if it rises to that height. No entry means no spilling.

Tank Cross-Sectional Area
☒ Constant 7.06 meters²
☐ Variable

Data Point	Height (meters)	Area (meters²)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Edit Table

Model Flow Restrictor
Cd Inflow:
Cd Outflow:
Restrictor Flow Area: meters²

Model Short Connector Pipe
Pipe Inner Diameter: cm
Pipe Area: meters²
Pipe Length: meters
Elevation Change: meters
Friction Factor:

One-Way Surge Tank (Check Valve Initially Closed)
Check Valve Cy:
Initial Check Valve Position: ☒ Closed ☐ Open
Delta Pressure/Head to Open:
☐ Head ☒ Pressure MPa

Note: If initially closed, the One-Way Surge Tank feature requires data for the "Initial Liquid Height for Steady-State Flow" on the Optional tab.

Diagram labels: A = Tank Height, B = Liquid Height, C = Connector Pipe Elevation Change, D = Elevation, E = Connector Pipe

Gambar 3.14 Menu Spesifikasi *Surge Tank*

Surge Tank Specifications

Number: 25
Name: Surge Tank
Database List:
Copy Data From Jgt:
Elevation: 1050 mm

Tank Model: Pipes Transient ☒ Optional Notes Status

Initial Guess: ☒ Head (HGL) ☐ Pressure meters

Display on Workspace: ☒ Junction Number ☐ Junction Name
Special Condition: ☒ None ☐ Ignore Surge Tank

Workspace Icon:
Change Icon:
☒ Use Workspace Default for Size
Custom Icon Size:

Initial Liquid Height for Steady-State Flow: 1 meters

Model as Dipping Tube Vessel
Height at Dipping Tube Bottom: meters
Polytropic Coefficient:
Note: Height above true tank bottom. If you model a Dipping Tube Vessel, the Tank Height input is a required input. Please enter Tank Height on the Tank Model tab.

Diagram labels: Tank Height, Liquid Height, Connector Pipe Elevation Change, Elevation, Height at Dipping Tube Bottom, Connector Pipe

Gambar 3.15 Menu *Optional Surge Tank*

- **Pipa**

Untuk pipa, spesifikasi yang diisi pada tab “pipe model” yang perlu diisi adalah *length*, pilih *pipe material*, *size*, *type*. Pada tab “fitting&losses” klik *specify fitting&losses*. Lalu klik OK.

Pipe Specifications

Number: 3 Upstream Junction: 2
 Name: Pipe 3 Downstream Junction: 3
 Copy Data From Pipe... Copy Previous... OK Cancel Jump... Help

Pipe Model | **Fittings & Losses** | Design Alerts | Optional | Notes | Status

Size
 Pipe Material: Steel
 Size: 26 inch
 Type: schedule 20
 Inner Diameter: 63.5 cm
 Wall Thickness: 1.27 cm
 Modulus of Elasticity: 202857.3 MPa
 Poisson Ratio: 0.3
☐ ID Reduction (Scaling): % (optional)

Length
 100 cm

Wavespeed
☐ User Specified Wavespeed
☒ Calculated Wavespeed
 Pipe Support: Thin-Walled Anchored Upstream
 c1: 0.85
 Wavespeed: 1211.889 meters/sec

Friction Model
 Data Set
☐ Unspecified
☒ Standard
 Absolute Roughness: 0.004572 cm Load Default

Gambar 3.16 Menu Spesifikasi Pipa

Pipe Specifications

Number: Upstream Junction:
 Name: Downstream Junction:
 Copy Data From Pipe...

Pipe Model **Fittings & Losses** Design Alerts Optional Notes Status

All Components in Pipe	K	Quantity
AREA CHANGE Contraction to Smaller Area, Angle=15 deg., AR=0.9	0.01	1

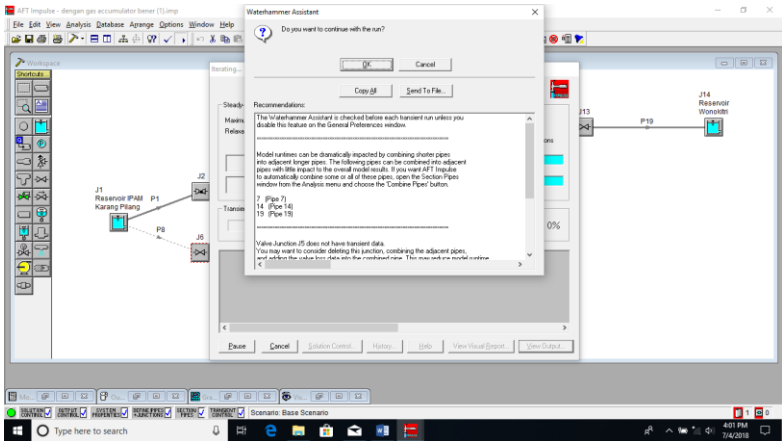
Abbreviations:
 D= Diameter AR= Area Ratio (C)= Crane
 PO= Percent Open deg.= degrees (I)= Idelchik
 (M)= Miller

Total K Factor:

Gambar 3.17 Menu Fitting&Losses

- e. Klik menu *section pipe* pada kolom kiri bawah dan klik *search*. Lalu klik OK.

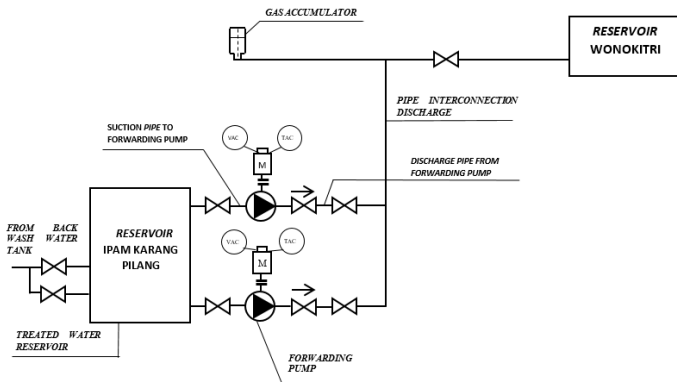
- f. Setelah semua properties tercentang biru pada kolom kiri bawah, barulah bias dilakukan running program dengan cara mengeklik tombol running pada *toolbar* utama. Setelah itu klik OK.



Gambar 3.20 Tampilan Program Saat Akan Running

- g. Setelah running barulah bias melihat grafik dan data fluktuasi tekanan.

3.2 Pemodelan Dengan Menggunakan *Layout*



Gambar 3.21 Skema Instalasi Perpipaan di Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Gambar diatas merupakan pemodelan sesuai dengan instalasi perpipaan di rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya mulai dari *reservoir* air bersih di Karang Pilang hingga menuju *reservoir* di Wonokitri. Dimana terdapat total 2 buah pompa yang terpasang dengan keterangan hanya 1 buah pompa yang beroperasi dan 1 buah pompa *standby*. Pompa *standby* dimaksudkan agar apabila terjadi hal yang tidak diinginkan, seperti tiba-tiba 1 buah pompa mengalami kendala dan harus dimatikan sementara waktu, pompa *standby* akan menggantikan pompa tersebut untuk beroperasi. Berikut adalah data-data pada simulasi:

1. Fluida dalam pipa:

- Fluida : Air pada tekanan 1 atm
- Suhu : 30°C
 - Karakteristik Air :

Tabel 3.1 Karakteristik untuk Fluida Air pada Suhu 30°C

Densitas	995.77191 kg/m ³
Viskositas Dinamik	7,91 x 10 ⁻⁴ kg/sec-m
Bulk Modulus	215013,5 mH ₂ O std.

2. Spesifikasi Pipa

Spesifikasi pipa yang digunakan pada pemodelan sistem perpipaan IPAM Karang Pilang 1 ini terlampir secara detail pada lampiran 1.

3. Spesifikasi *Reservoir & Junction*:

Data *reservoir* dan jenis sambungan perpipaan serta elevasinya terlampir pada lampiran 2.

4. Spesifikasi Pompa Produksi:

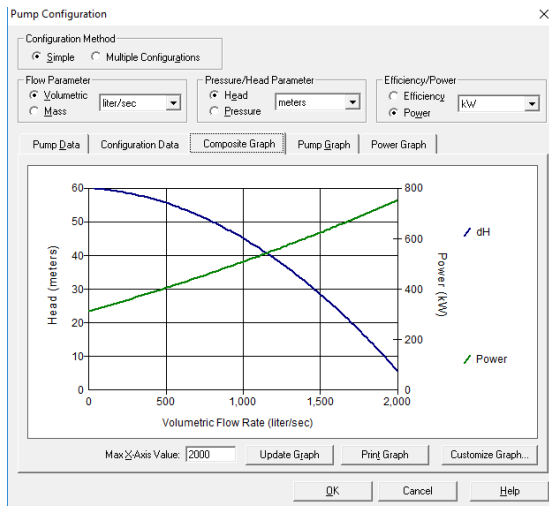
Pompa yang digunakan merupakan pompa sentrifugal (jenis pompa *positive suction*) dimana posisi pompa berada di bawah posisi *reservoir*. Terdapat 1 buah pompa yang dioperasikan dan didistribusikan menuju *reservoir* Putat Gede dan 1 buah pompa dalam keadaan *standby*. Berikut detailnya :

- Pompa 1 : memasok permintaan *flow rate* sebesar 1030 liter/detik
- Pompa 2 : pompa *standby*.

Dari karakteristik masing-masing pompa operasi, debit total yang menuju *reservoir* di Putat Gede, yaitu 1030 liter/detik. Berikut ini adalah karakteristik pompa :

Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Produksi di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM

Merk	Toroshima
Tipe	CDMV 700x600
Nomor Seri	P501018
Jenis	Sentrifugal
Kapasitas	1030 liter/detik
Head	44 m



Gambar 3.22 Kurva Performa Pompa Sentrifugal Torishima CDMV 700x600

5. Spesifikasi Motor Penggerak Pompa Produksi:

Motor yang digunakan di rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 1 merupakan elektro motor yang terhubung secara vertikal dengan masing-masing pompa produksi. Berikut karakteristik motor penggerak pompa:

Tabel 3.3 Spesifikasi Elektro Motor Penggerak Pompa di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada

Merk	Hyundai
Tipe	HLA 7636-6
Nomor Seri	88 MSTV 0339
Daya	800 kW
Voltase	6000 V
Ampere	91 A
Putaran	990 rpm

6. Alat Proteksi *Water Hammer*

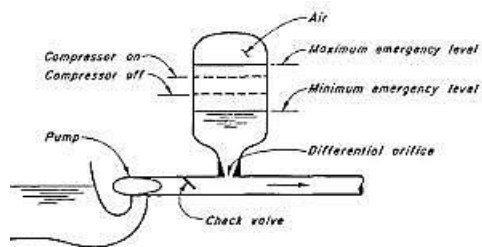
1. Spesifikasi *Bladder Accumulator*

Pada rumah pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *gas accumulator* yang diletakkan sejauh 25 meter dari rumah pompa. Spesifikasi dan skema *gas accumulator* yang digunakan Karang Pilang 1 ditunjukkan dibawah ini:

Tabel 3.4 Spesifikasi *Gas Accumulator* di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Tekanan Kerja	10,5 bar
Kapasitas	53 m ³
Diameter	2,1 m

Gambar *gas accumulator* secara umum dapat dilihat pada gambar dibawah:



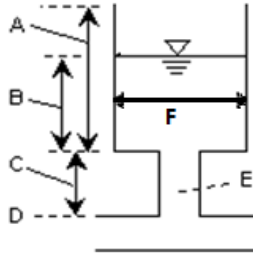
Gambar 3.23 Skema *Gas Accumulator*

2. Spesifikasi *Surge Tank*

Untuk spesifikasi *surge tank* mengikuti *surge tank* yang terpasang pada rumah pompa Unit IPAM Karang Pilang 3. Spesifikasi dan skema *surge tank* yang digunakan Karang Pilang 3 ditunjukkan di bawah ini :

Tabel 3.5 Spesifikasi *Surge tank* di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

A	Tank Height	6742 mm
B	Liquid Height Level	-
C	Connector Pipe Elevation Change	640 mm
D	Elevation	7000 mm
E	Connector Pipe	500 mm
F	Diameter Tank	3000 mm



Gambar 3.24 Skema *Surge tank*

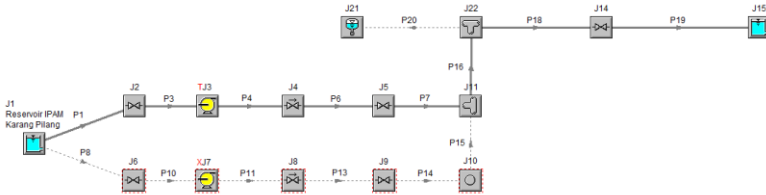
Pada kondisi aktual, *surge tank* di unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Sembada Surabaya berada pada jarak $L = 25$ meter dari forwarding dengan *tank cross-sectional area* 7068584 mm^2 . Variasi *level* ketinggian fluida (air) dalam *surge tank* merupakan pilihan untuk penelitian ini. Agar ketinggian air tidak berfluktuasi (stabil) di dalam *surge tank* maka tekanan pada *discharge* pompa dan tekanan pada *surge tank* harus sama. Tetapi karena keterbatasan kemampuan dari *software*, tekanan maksimum yang dapat di-*input* terbatas. Berikut variasi *level* ketinggian air yang di-*input* pada *software* :

Tabel 3.6 Variasi Liquid Height Level Pada *Surge tank* di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

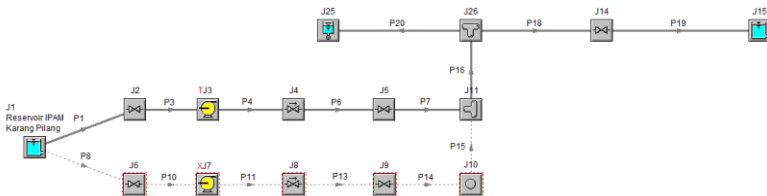
Variasi	Liquid Height (meter)
Variasi 1	0
Variasi 2	1
Variasi 3	2
Variasi 4	3
Variasi 5	4
Variasi 6	5
Variasi 7	6

3.3 Skema Pemodelan Sistem Perpipaan pada Simulasi

Untuk melihat pengaruh serta karakteristik dari alat proteksi *water hammer* yang digunakan, maka pada simulasi ini dilakukan skema pemodelan sistem perpipaan sebagai berikut:



Gambar 3.25 Layout Pemodelan Instalasi Perpipaan dengan Gas Accumulator

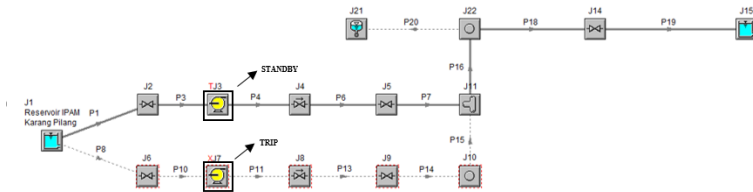


Gambar 3.26 Layout Pemodelan Instalasi Perpipaan dengan Surge Tank

3.4 Skenario Operasi Pompa

Setiap pompa mampu mengalirkan fluida dengan debit 1030 liter/detik. Pada skema operasi yang diterapkan di rumah pompa (*forwarding*) unit IPAM Karang Pilang 1 menuju Putat Gede, hanya 1 pompa yang beroperasi (1030 liter/detik). Pemodelan penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem proteksi *water hammer* pada kondisi ekstrim, misalnya pompa mati tiba-tiba dikarenakan aliran listrik yang bermasalah, jadwal perbaikan ataupun karena kegagalan pompa beroperasi.

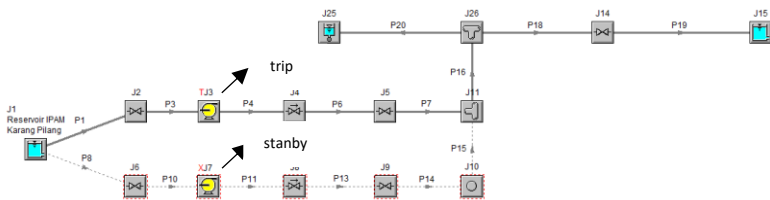
3.4.1 Skenario 1 Pompa *on* yang tiba-tiba *off* (Trip dengan Inersia tanpa Aliran Balik) dengan Gas Accumulator



Gambar 3.27 Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa *on* yang tiba-tiba *off* Dengan Gas Accumulator

Pada gambar 3.8 merupakan skenario yang menjelaskan bahwa pompa 1 yang beroperasi dan tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip dengan inersia tanpa adanya aliran balik (kondisi transient) sedangkan pompa 2 pada kondisi standby. Analisa pemodelan dilakukan menggunakan alat proteksi *water hammer*, *gas accumulator*.

3.4.2 Skenario 1 Pompa *on* yang tiba-tiba *off* (Trip dengan Inersia tanpa Aliran Balik) dengan Surge Tank



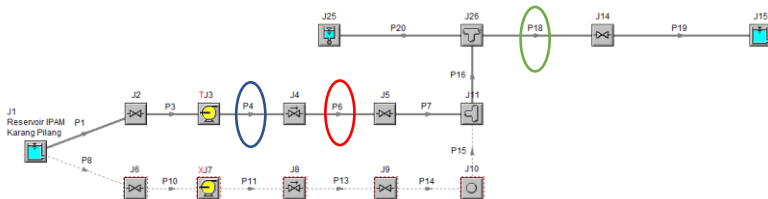
Gambar 3.28 Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa *on* yang tiba-tiba *off* dengan Surge Tank

Pada gambar 3.9 merupakan skenario yang menjelaskan bahwa pompa 1 yang beroperasi dan tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip dengan inersia tanpa adanya aliran balik

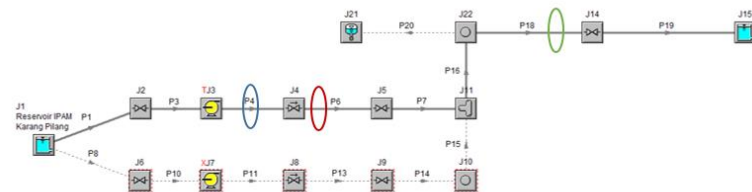
(kondisi transient) sedangkan pompa 2 pada kondisi standby. Analisa pemodelan dilakukan dengan menggunakan sistem proteksi *surge tank*.

3.5 Titik Analisa Permodelan Sistem Perpipaan

Analisa permodelan instalasi perpipaan pada simulasi dilakukan pada beberapa titik yang terkena dampak utama dari *water hammer*. Daerah yang dipilih untuk dianalisa merupakan daerah utama yang terkena dampak utama saat terjadinya fenomena *water hammer* seperti halnya pada bagian *discharge* pompa, *interconnection discharge* pipa, dan daerah proteksi *water hammer*. Titik yang dianalisa akan digambarkan sebagai berikut:






Gambar 3.29 Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa *OFF* dan 1 Pompa *Standby* Dengan *Surge Tank*



Gambar 3.30 Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa *OFF* dan 1 Pompa *Standby* dengan *Gas Accumulator*

Detail titik analisa tersebut dijelaskan pada tabel dibawah:

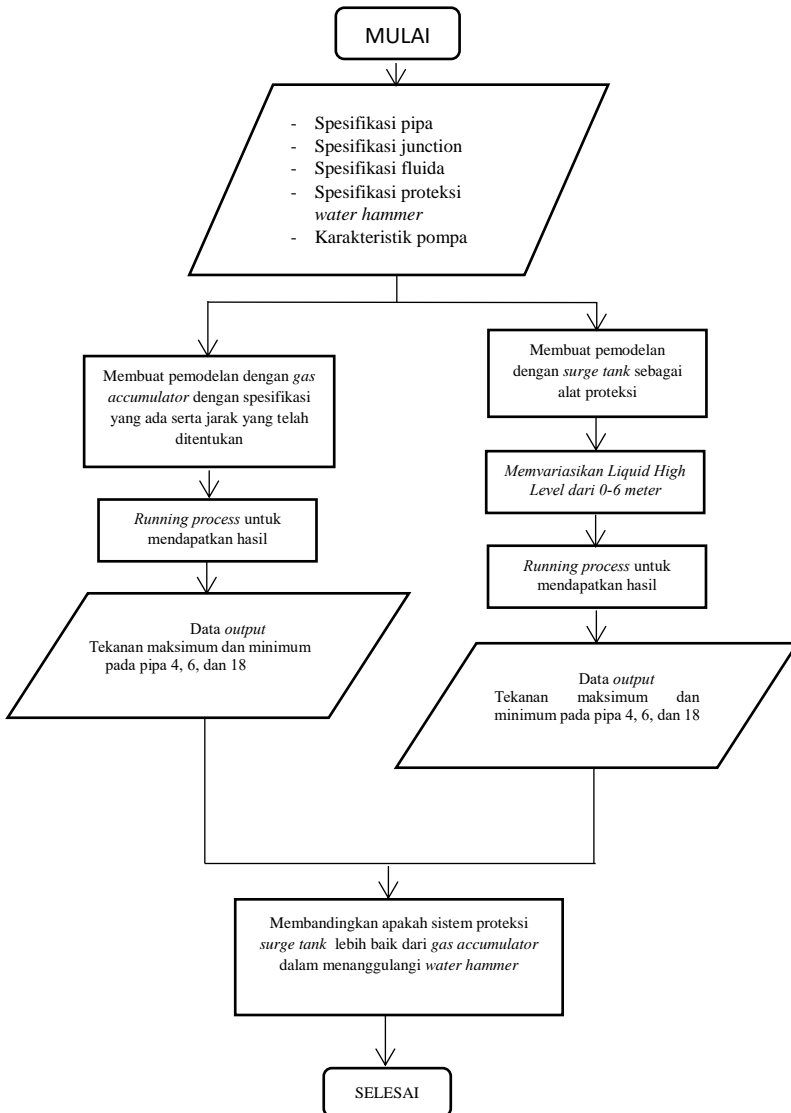
Tabel 3.7 Detail Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa dengan Proteksi *Surge Tank*

No	Warna Titik	Nomor Pipa	Posisi Pipa
1		P4	<i>Discharge</i> pompa 1
2		P6	Setelah <i>check valve</i>
3		P18	Setelah <i>elbow</i>

Titik analisa dilakukan pada pipa P4 *inlet* untuk melihat dampak yang terjadi pada daerah *discharge* pompa yang mengalami trip secara tiba-tiba. Selain itu, pipa P6 adalah pipa setelah *check valve* karena *check valve* juga berperan dalam meredam *water hammer* sebelum memasuki pompa utama sehingga P6 rentan mengalami lonjakan tekanan saat terjadi *water hammer*. Oleh karena itu daerah ini sangat penting dianalisa mengingat kemungkinan terjadi lonjakan tekanan sangat tinggi. Sedangkan titik analisa pada P18 dianalisa untuk melihat kondisi fluktuasi tekanan pada saat *water hammer* terjadi, mengingat pipa ini adalah pipa yang terdekat dengan alat proteksi yang akan dipasang dan bertugas meredam lonjakan tekanan sehingga pada akhirnya dapat dilakukan perbandingan dengan kondisi fluktuasi tekanan di pipa-pipa dekat *discharge* pompa.

Titik-titik ini merupakan titik yang akan dianalisa akibat terjadinya fenomena *water hammer* dengan proteksi *surge tank* karena pada titik tersebut mengalami lonjakan dan fluktuasi tekanan yang tinggi.

3.6 Skema Diagram Alir



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

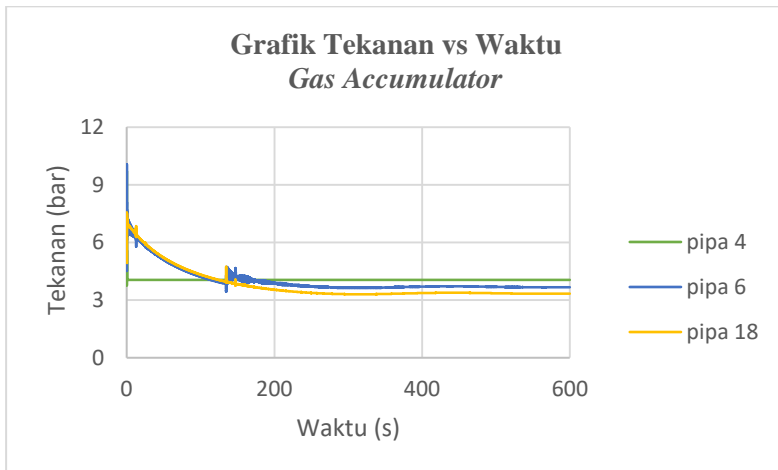
4.1 Data Hasil Simulasi

Data hasil simulasi kemudian didapatkan melalui tahap *running process* dari setiap variasi pemodelan yang telah dilakukan sesuai dengan ketentuan yang telah dijelaskan sebelumnya dan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* AFT Impulse 4.0. Data yang digunakan dari hasil simulasi meliputi data tekanan terhadap waktu untuk setiap skenario pompa serta penggunaan *gas accumulator* dan *surge tank* yang dimana *liquid high level* divariasikan.

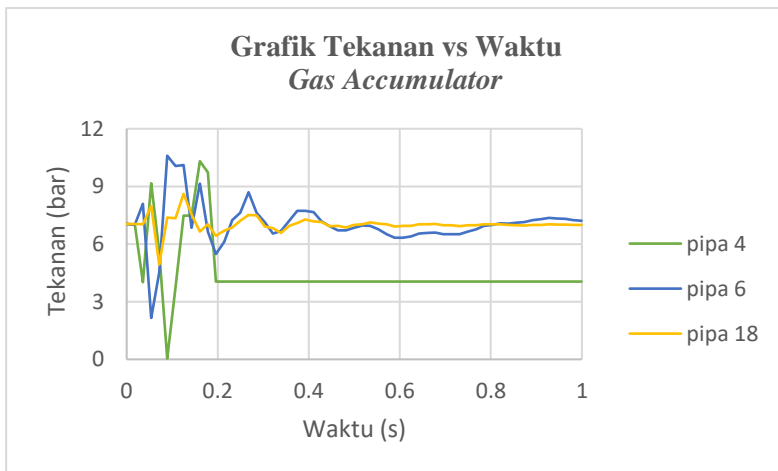
Hasil dari simulasi *gas accumulator* diambil dari hasil penelitian yang dilakukan oleh saudari Alda Vionetta Jourdi Putri yang menganalisa pengaruh sistem proteksi *gas accumulator* terhadap sistem perpipaan saat terjadinya fenomena *water hammer*, yang juga dilakukan di Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.

4.1.1 Skenario 1 Pompa Trip 1 pompa Standby dengan Gas Accumulator

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan *gas accumulator* sebagai alat proteksi *water hammer* berikut hasil simulasi :



Gambar 4.1 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Gas Accumulator*



Gambar 4.2 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Gas accumulator*
Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-1

Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 10.31 bar pada pipa 4, 10.59 bar pada pipa 6 dan 8.61 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *gas accumulator* disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel Hasil Simulasi *Gas Accumulator* Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

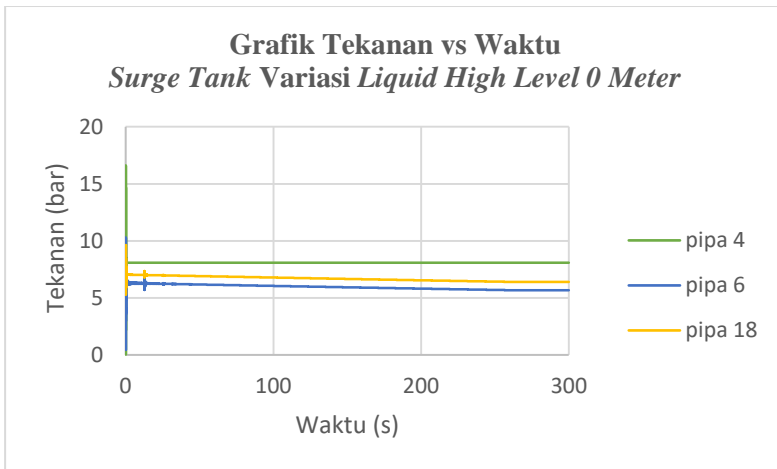
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	10.31	0.16	0.04	0.089	4.04	0.19
6	10.59	0.089	2.115	0.05	3.6	254
18	8.61	0.12	3.302	314	3.3	240

4.1.2 Skenario 1 Pompa Trip 1 Pompa *Standby* dengan Variasi *Liquid High Level* pada *Surge Tank*

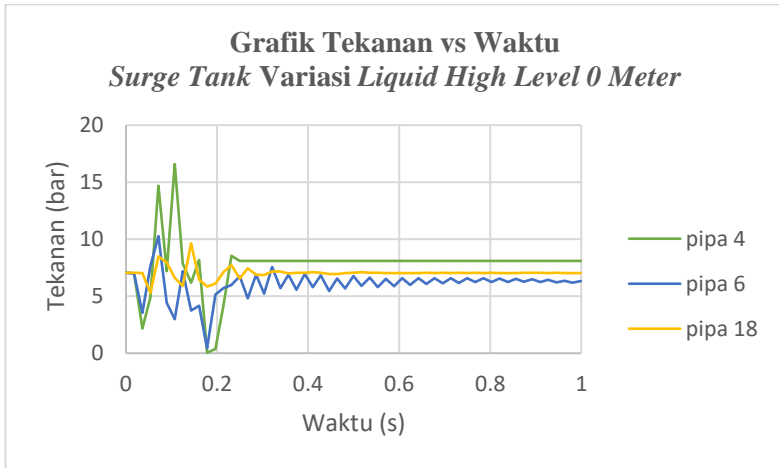
Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* sebagai alat proteksi *water hammer*.

4.1.2.1 Variasi *Liquid High Level* 0 Meter pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 0 meter.



Gambar 4.3 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 0 Meter



Gambar 4.4 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 0 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-1

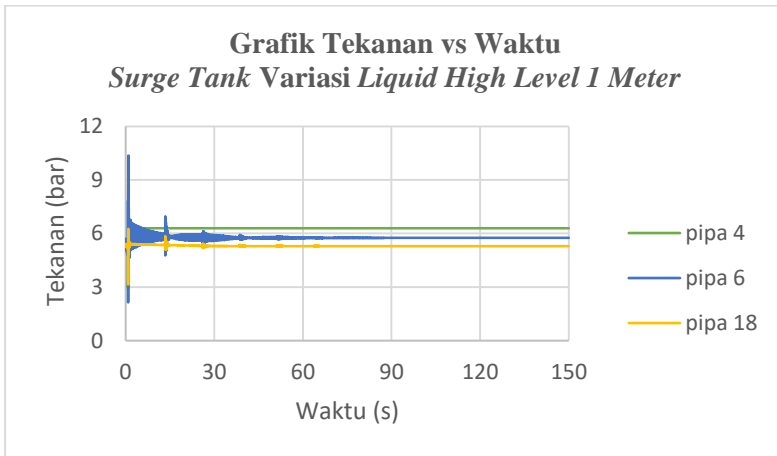
Pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 16.582 bar pada pipa 4, 10.269 bar pada pipa 6 dan 9.639 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 0 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 0 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

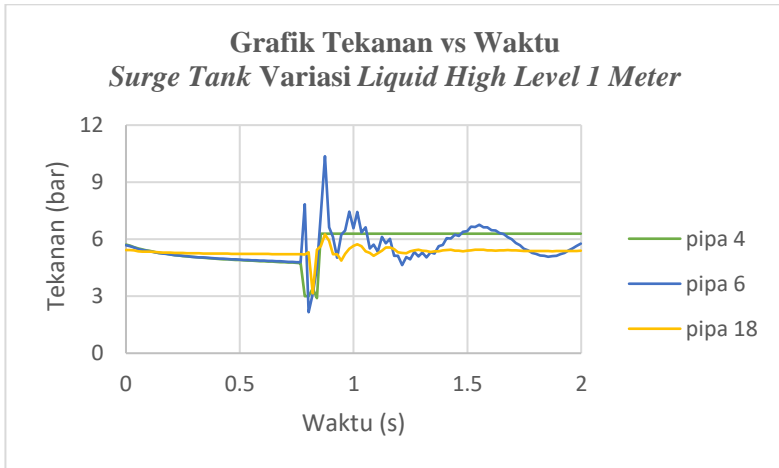
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	16.582	0.107	0.042	0.178	8.091	0.249
6	10.269	0.071	0.442	0.178	5.675	260
18	9.639	0.142	5.293	0.053	6.043	260

4.1.2.2 Variasi *Liquid High Level 1 Meter* pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 1 meter.



Gambar 4.5 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL 1 Meter*



Gambar 4.6 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 1 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2

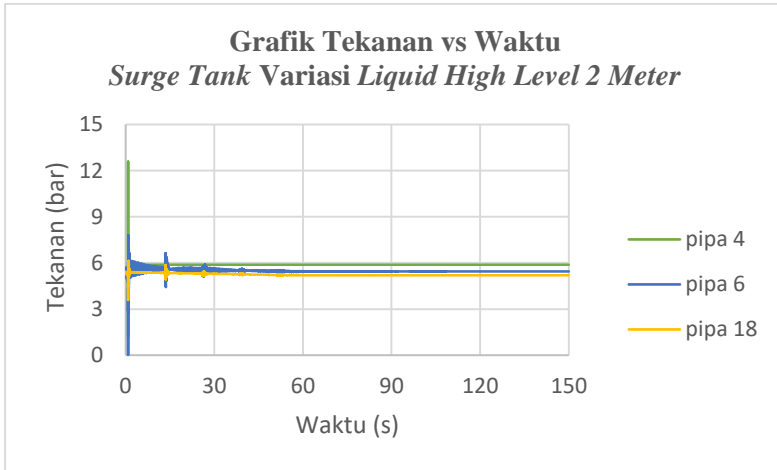
Pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 6.288 bar pada pipa 4, 10.363 bar pada pipa 6 dan 6.249 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 1 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 1 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

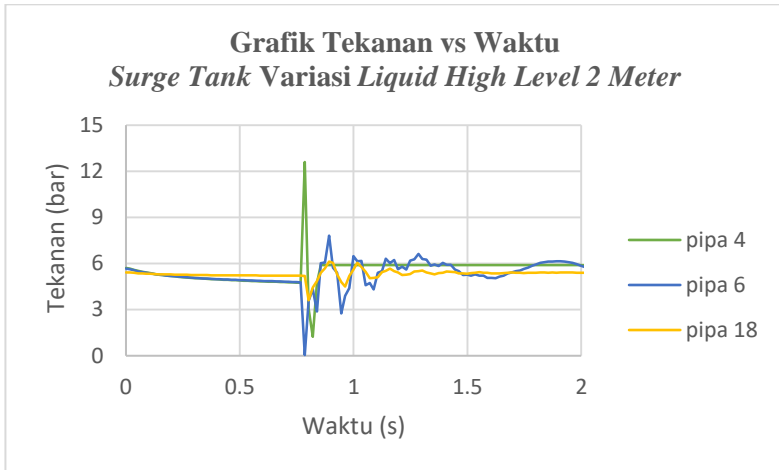
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	6.288	0.856	2.897	0.838	6.288	0.856
6	10.363	0.857	2.158	0.802	5.765	110
18	6.249	0.874	3.150	0.820	5.296	80

4.1.2.3 Variasi *Liquid High Level* 2 Meter pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 2 meter.



Gambar 4.7 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 2 Meter



Gambar 4.8 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 2 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2

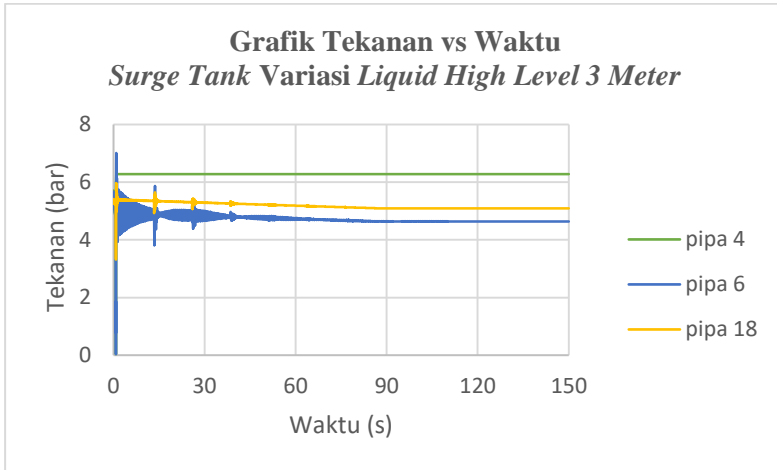
Pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 12.596 bar pada pipa 4, 7.81 bar pada pipa 6 dan 6.125 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 2 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 2 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

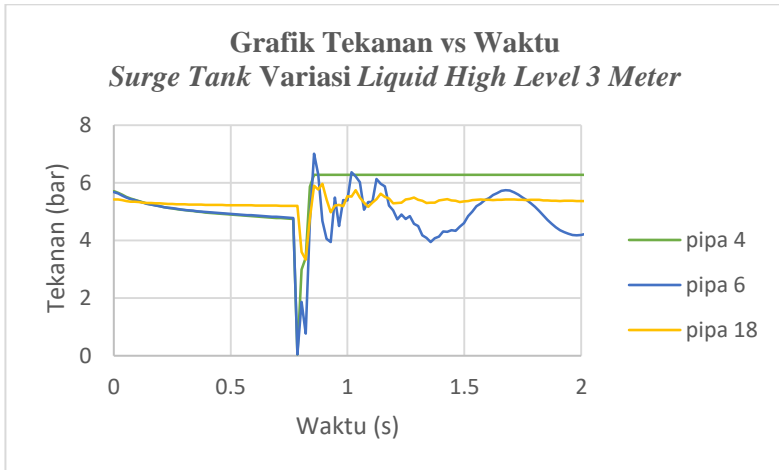
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	12.596	0.785	1.225	0.820	5.892	0.856
6	7.810	0.892	0.042	0.785	5.439	115
18	6.125	0.892	3.598	0.802	5.205	55

4.1.2.4 Variasi *Liquid High Level* 3 Meter pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 3 meter.



Gambar 4.9 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 3 Meter



Gambar 4.10 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 3 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2

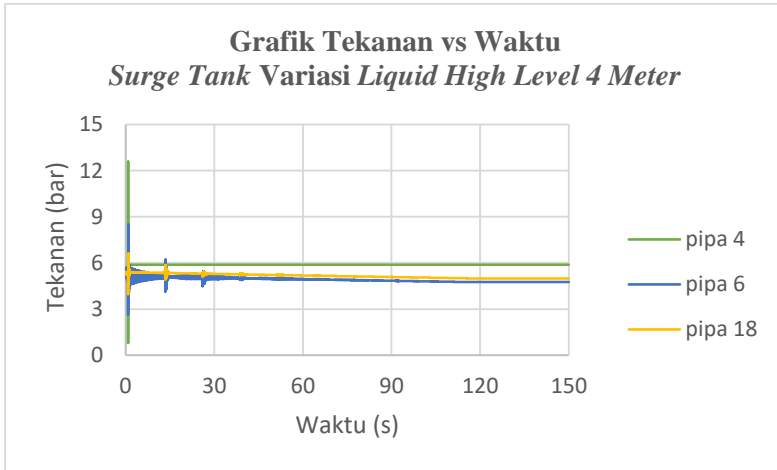
Pada gambar 4.9 dan gambar 4.10 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 6.281 bar pada pipa 4, 7.012 bar pada pipa 6 dan 5.96 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 3 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 3 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

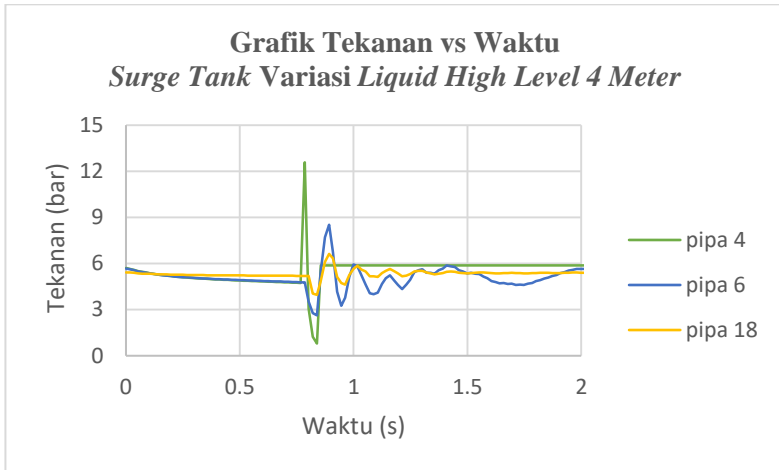
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	6.281	0.856	0.042	0.785	6.281	0.856
6	7.012	0.856	0.042	0.785	4.641	115
18	5.960	0.892	3.330	0.820	5.097	110

4.1.2.5 Variasi *Liquid High Level* 4 Meter pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 4 meter.



Gambar 4.11 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 4 Meter



Gambar 4.12 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 4 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2

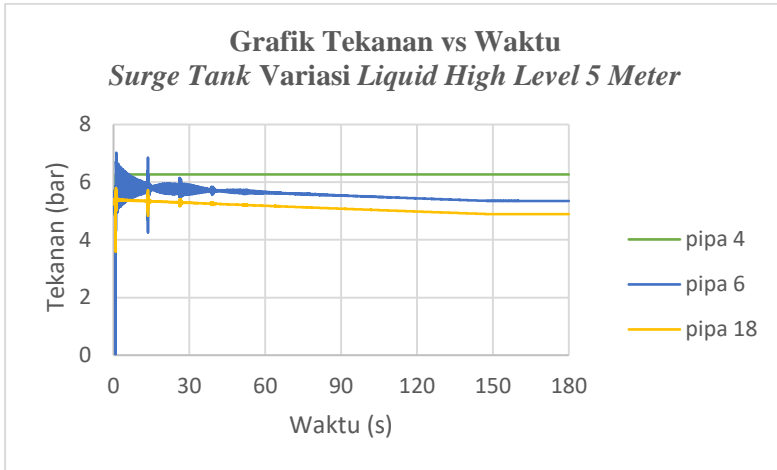
Pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 12.582 bar pada pipa 4, 8.551 bar pada pipa 6 dan 6.621 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 4 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 4 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

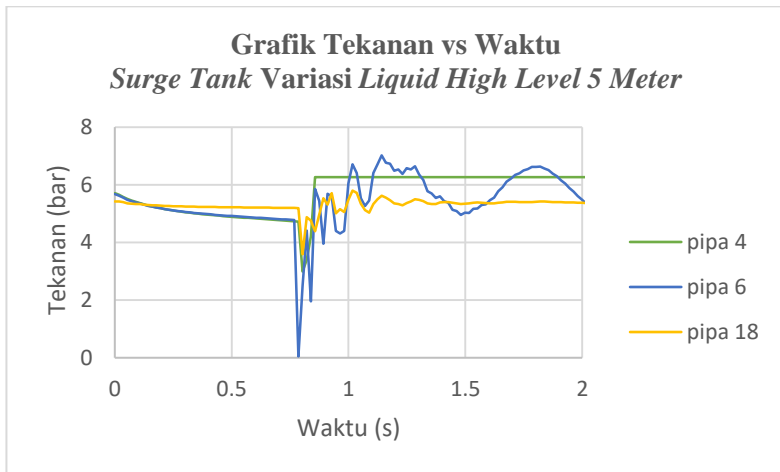
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	12.582	0.785	0.799	0.835	5.884	0.856
6	8.551	0.892	2.628	0.838	4.757	115
18	6.621	0.892	3.936	0.838	5.002	115

4.1.2.6 Variasi *Liquid High Level* 5 Meter pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 5 meter.



Gambar 4.13 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 5 Meter



Gambar 4.14 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 5 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2

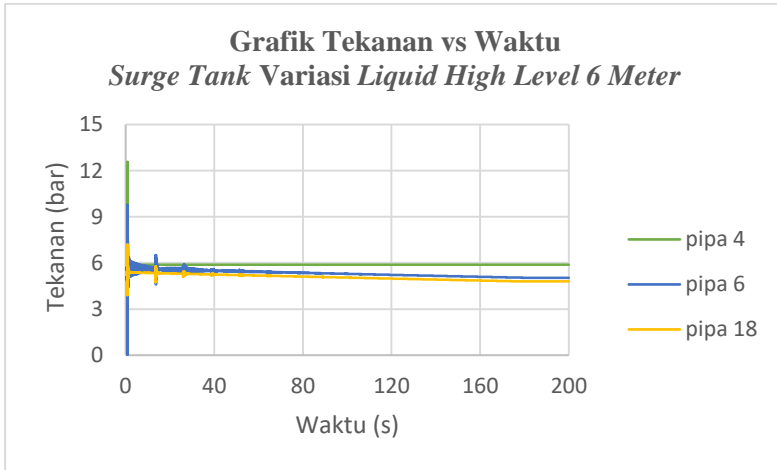
Pada gambar 4.13 dan gambar 4.14 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 6.269 bar pada pipa 4, 7.024 bar pada pipa 6 dan 5.798 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 5 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 5 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

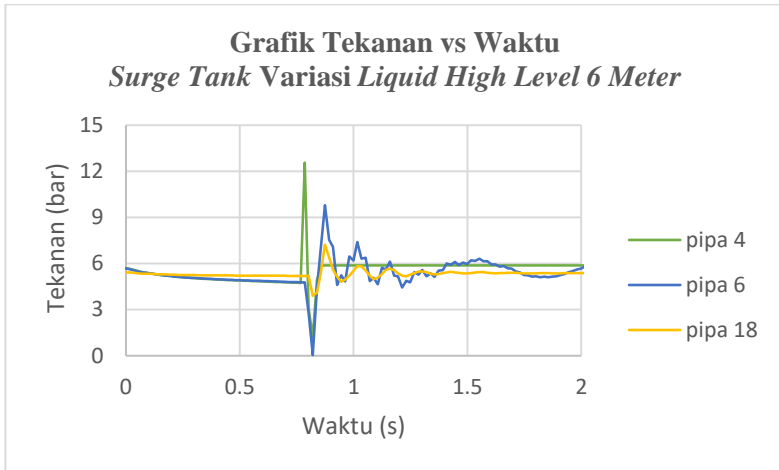
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	6.269	0.856	2.985	0.802	6.269	0.856
6	7.024	1.141	0.042	0.785	5.377	140
18	5.798	1.016	3.593	0.802	4.904	145

4.1.2.7 Variasi *Liquid High Level* 6 Meter pada *Surge Tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini menjelaskan bahwa 1 pompa *standby* dan 1 pompa tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip*. Dengan variasi *liquid high level* pada *surge tank* setinggi 6 meter.



Gambar 4.15 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 6 Meter



Gambar 4.16 Grafik Tekanan Terhadap Waktu *Surge Tank* variasi *LHL* 6 Meter Saat Detik ke-0 Hingga Detik ke-2

Pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 diketahui bahwa tekanan didalam pipa mengalami fluktuasi saat terjadinya *water hammer*, tekanan berfluktuasi maksimum hingga 12.56 bar pada pipa 4, 9.798 bar pada pipa 6 dan 7.221 bar pada pipa 18. Untuk data hasil simulasi performa *surge tank* dengan variasi *liquid high level* setinggi 6 meter disaat 1 pompa mengalami *trip* dan 1 pompa dalam keadaan *standby* terdapat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabel Hasil Simulasi *Surge Tank* dengan *Liquid High Level* 6 Meter Skenario 1 Pompa *Standby* 1 Pompa *Trip*

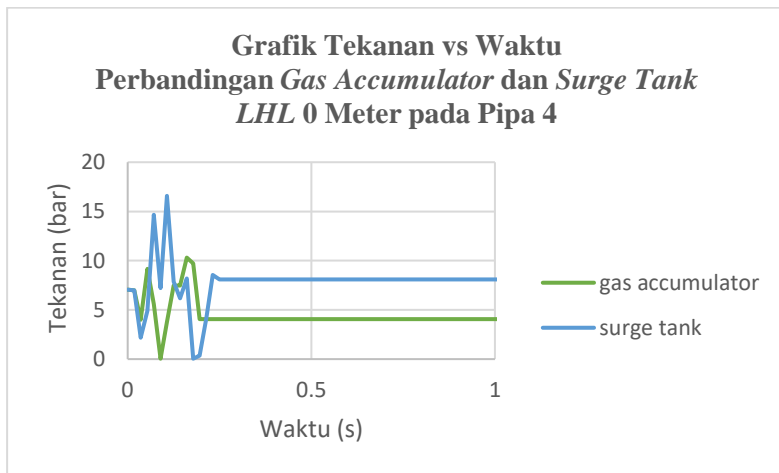
PIPA	MAKSIMUM		MINIMUM		STABIL	
	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)	P (bar)	t (s)
4	12.560	0.785	1.225	0.820	5.875	0.856
6	9.798	0.874	0.042	0.820	5.053	175
18	7.221	0.874	3.905	0.820	4.797	180

4.1.3 Perbandingan Hasil Simulasi Alat Proteksi *Water Hammer Gas Accumulator* dan *Surge Tank* Dengan Variasi *Liquid High Level*

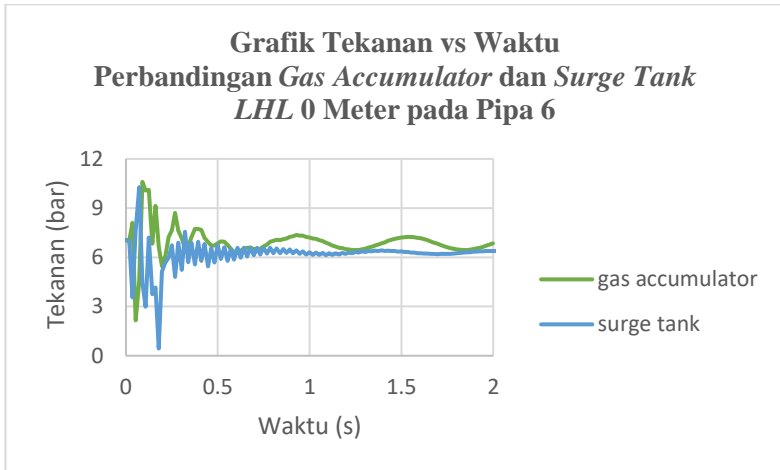
Setelah didapatkan hasil simulasi dari alat proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dilakukan perbandingan antara kedua alat proteksi di setiap variasi pada pipa 4, pipa 6 dan pipa 8.

4.1.3.1 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 0 Meter*

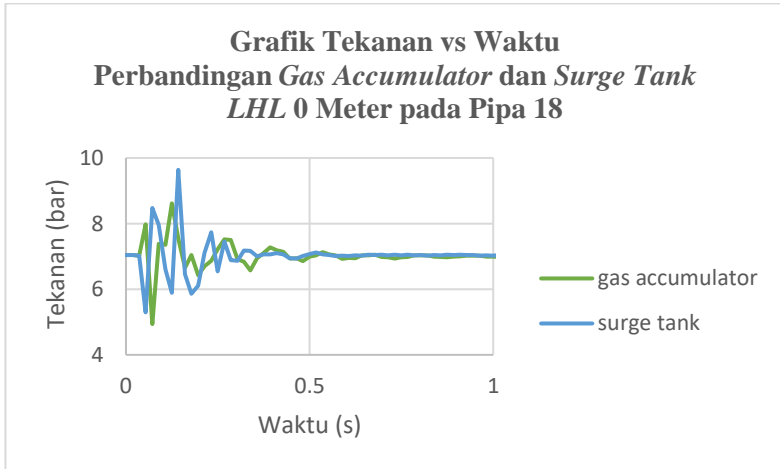
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 0 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.17 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 0 Meter* Pada Pipa 4



Gambar 4.18 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 0 Meter* Pada *Pipa 6*

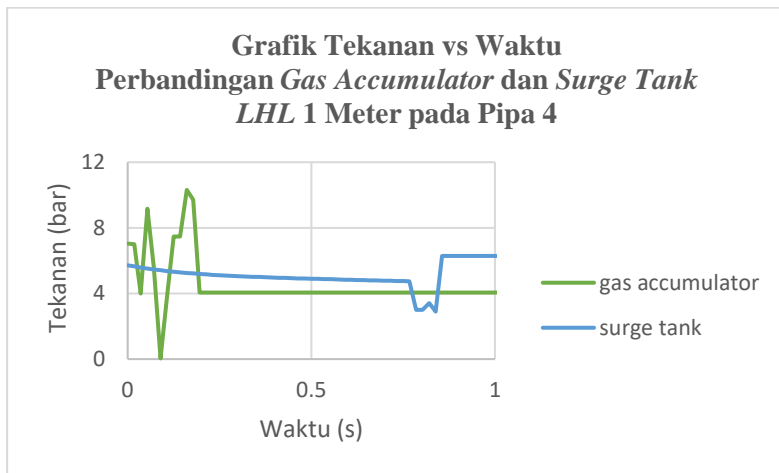


Gambar 4.19 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 0 Meter* Pada *Pipa 18*

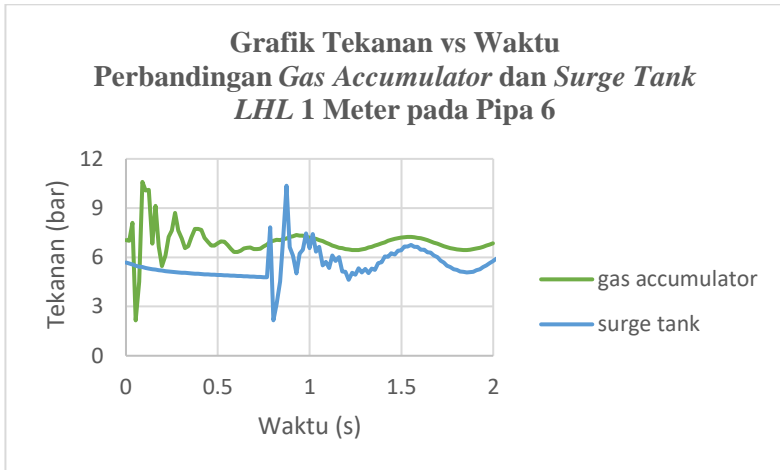
Pada gambar 4.17 terlihat bahwa tekanan maksimum pada pipa 4 yang dihasilkan oleh *surge tank* (16.582 bar) lebih besar dari pada *gas accumulator* (10.31 bar). Pada gambar 4.18 menunjukkan di pipa 6 *surge tank* menghasilkan tekananmaksimum lebih kecil (10.269 bar) dibandingkan *gas accumulator* (10.59 bar), sedangkan pada pipa 18 tekanan maksimum pada *gas accumulator* lebih kecil (8.61 bar) dibandingkan *surge tank* (9.639 bar).

4.1.3.2 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 1 Meter*

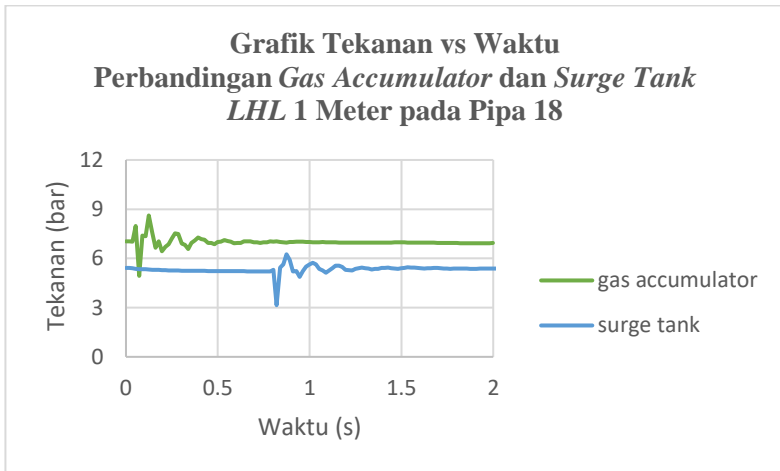
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 1 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.20 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 1 Meter* Pada Pipa 4



Gambar 4.21 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 1 Meter Pada Pipa 6

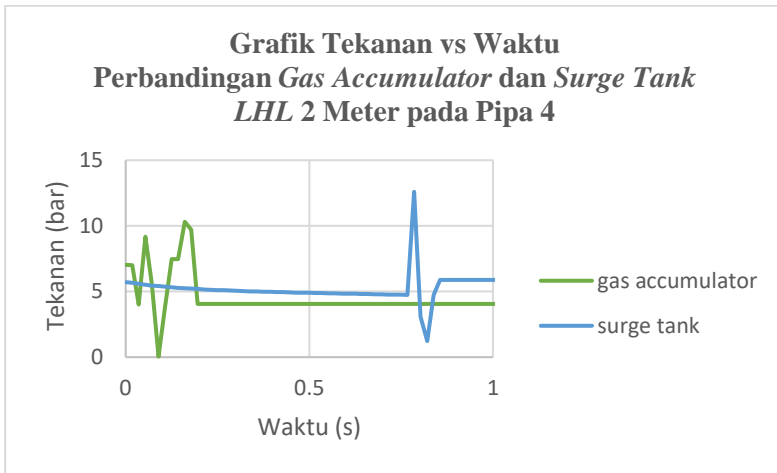


Gambar 4.22 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 1 Meter Pada Pipa 18

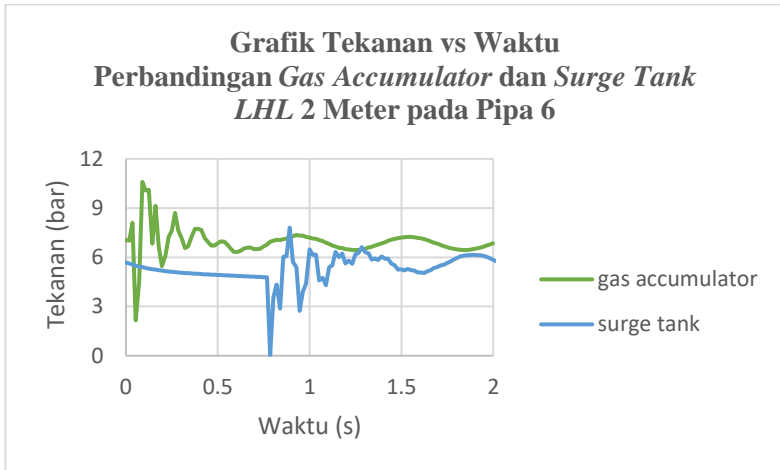
Dari gambar 4.20, gambar 4.21 dan gambar 4.22 terlihat bahwa pada pipa 4, pipa 6 dan pipa 18 *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih rendah dibandingkan dengan *gas accumulator*.

4.1.3.3 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 2 Meter*

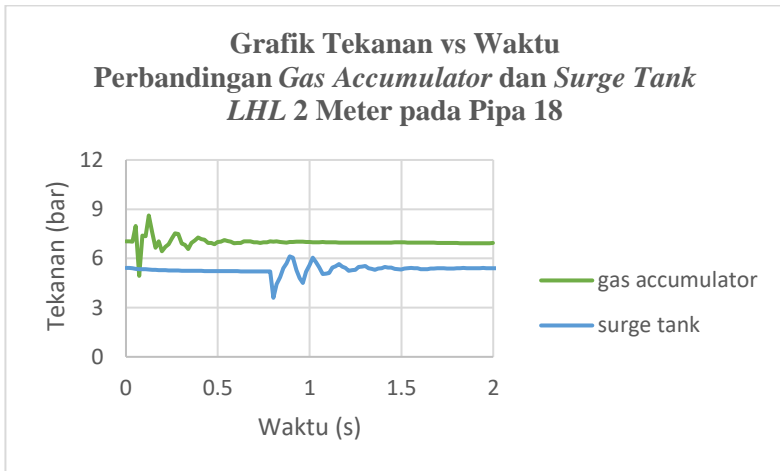
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 2 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.23 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 2 Meter* Pada Pipa 4



Gambar 4.24 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 2 Meter Pada Pipa 6

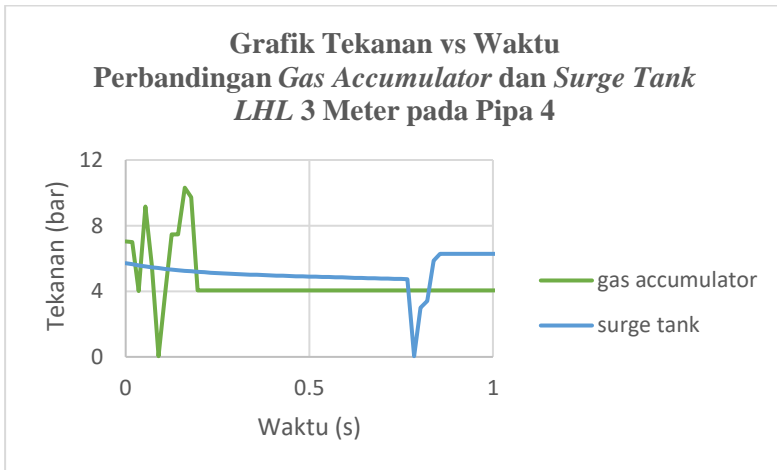


Gambar 4.25 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 2 Meter Pada Pipa 18

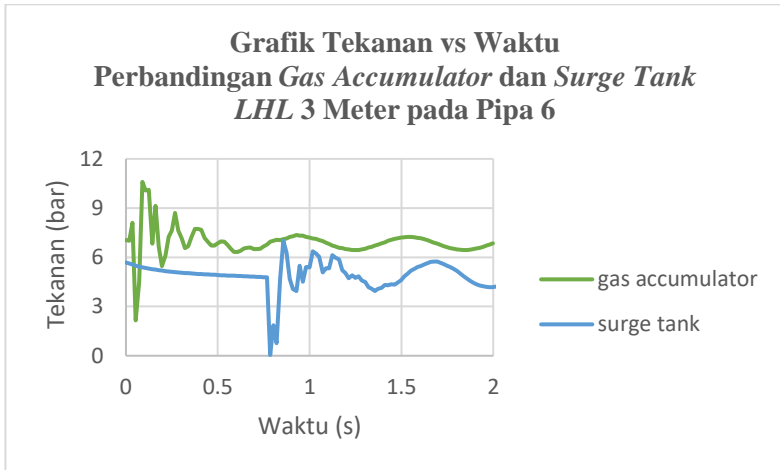
Dari gambar 4.23 terlihat bahwa pada pipa 4 *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih tinggi dari pada *gas accumulator*. Tetapi pada pipa 6 dan pipa 18 *surge tank* memiliki tekanan maksimum daripada *gas accumulator*.

4.1.3.4 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 3 Meter*

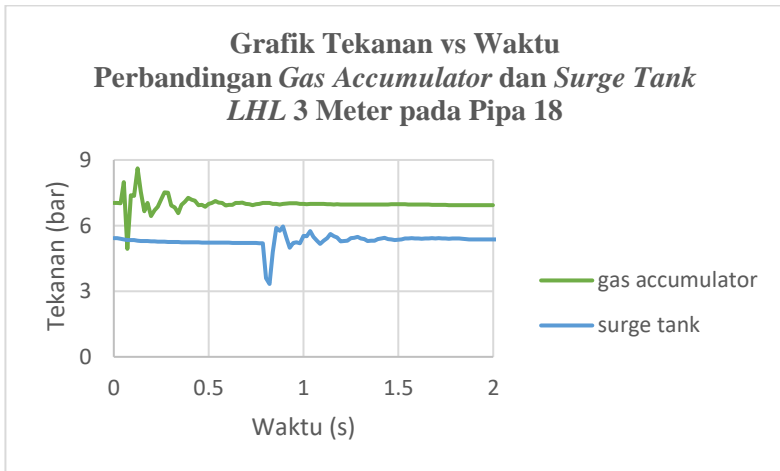
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 3 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.26 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 3 Meter* Pada Pipa 4



Gambar 4.27 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 3 Meter Pada Pipa 6

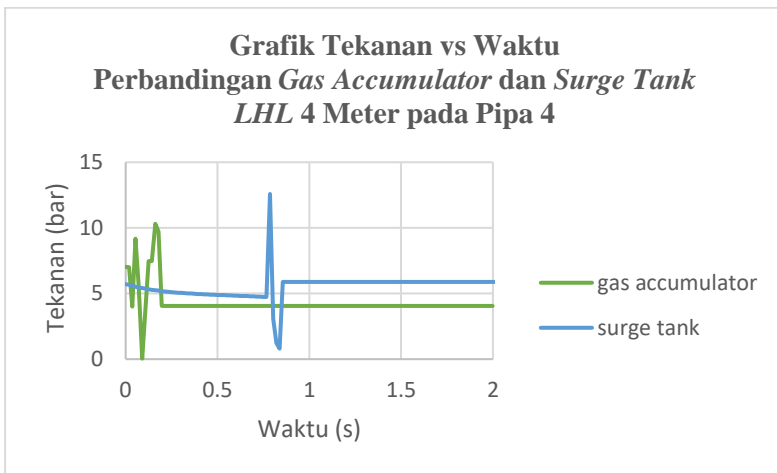


Gambar 4.28 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 3 Meter Pada Pipa 18

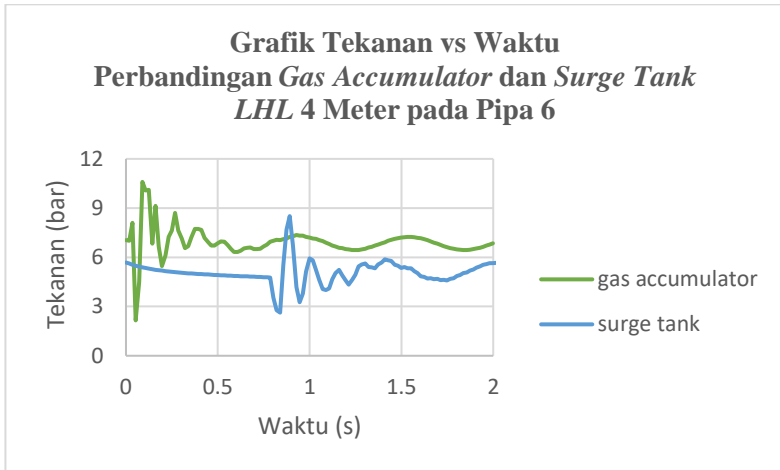
Dari gambar 4.26, gambar 4.27 dan gambar 4.28 terlihat bahwa pada pipa 4, pipa 6 dan pipa 18 *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih rendah dibandingkan dengan *gas accumulator*.

4.1.3.5 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 4 Meter*

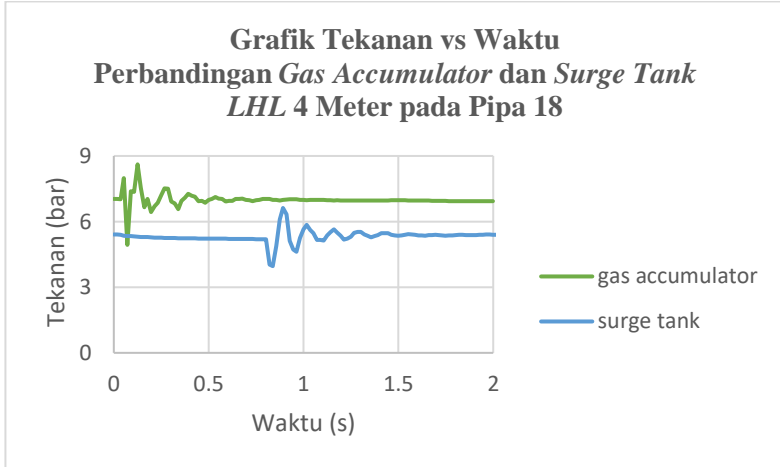
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 4 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.29 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 4 Meter* Pada Pipa 4



Gambar 4.30 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 4 Meter Pada Pipa 6

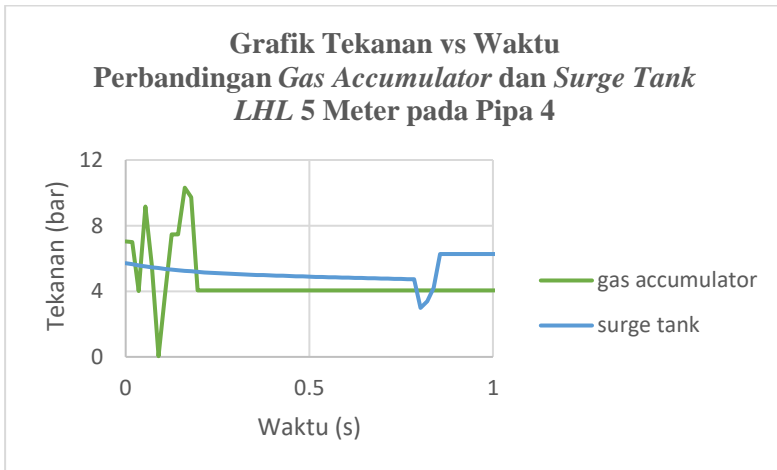


Gambar 4.31 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 4 Meter Pada Pipa 18

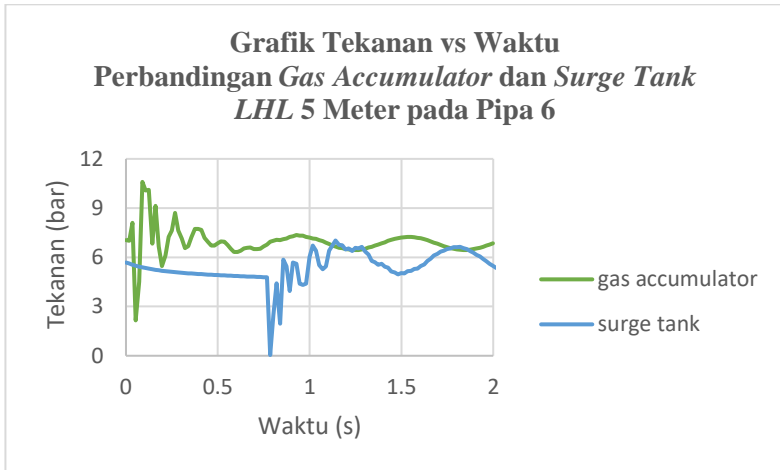
Dari gambar 4.29 terlihat bahwa pada pipa 4 *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih tinggi dari pada *gas accumulator*. Tetapi pada pipa 6 dan pipa 18 *surge tank* memiliki tekanan maksimum daripada *gas accumulator*.

4.1.3.6 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 5 Meter*

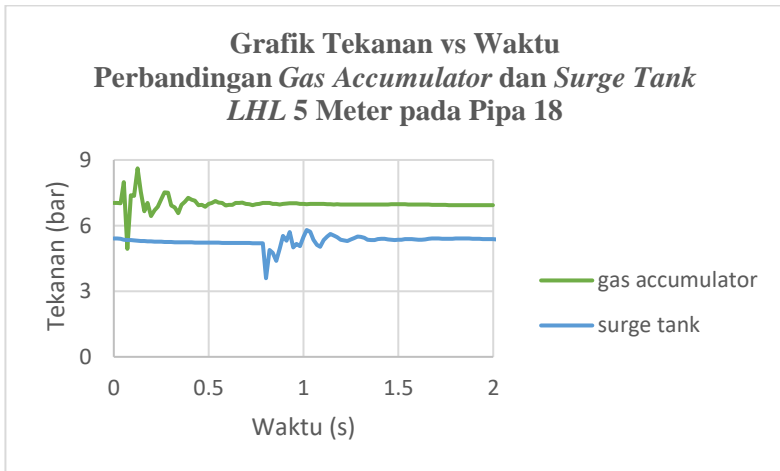
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 5 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.32 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 5 Meter* Pada Pipa 4



Gambar 4.33 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 5 Meter* Pada *Pipa 6*

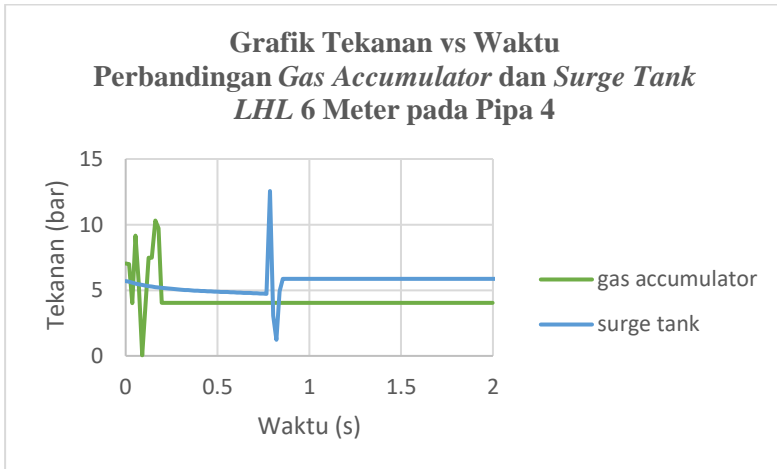


Gambar 4.34 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 4 Meter* Pada *Pipa 18*

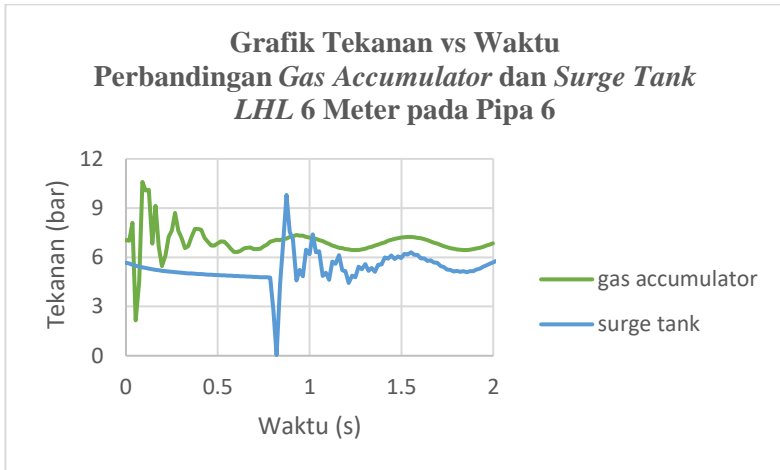
Dari gambar 4.32 gambar 4.33 dan gambar 4.34 terlihat bahwa pada pipa 4, pipa 6 dan pipa 18 *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih rendah dibandingkan dengan *gas accumulator*.

4.1.3.7 Perbandingan Hasil Simulasi *Gas accumulator* dan *Surge Tank LHL 6 Meter*

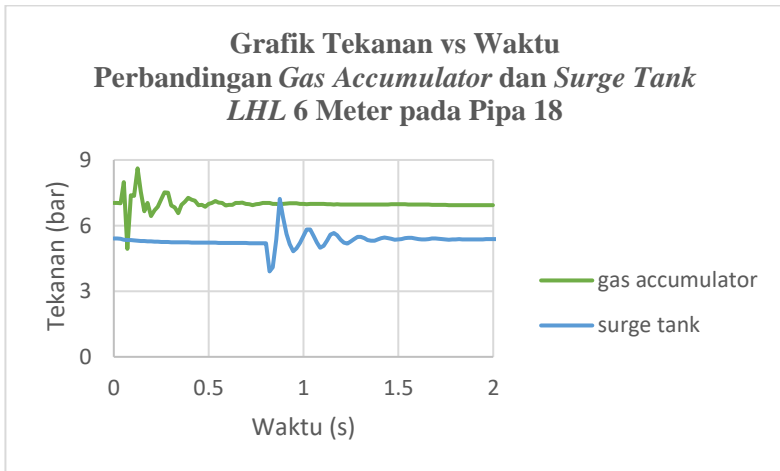
Perbandingan antara sistem proteksi *water hammer gas accumulator* dan *surge tank* dengan LHL 5 meter pada saat terjadi kegagalan pada saat pompa beroperasi



Gambar 4.35 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank LHL 6 Meter* Pada Pipa 4



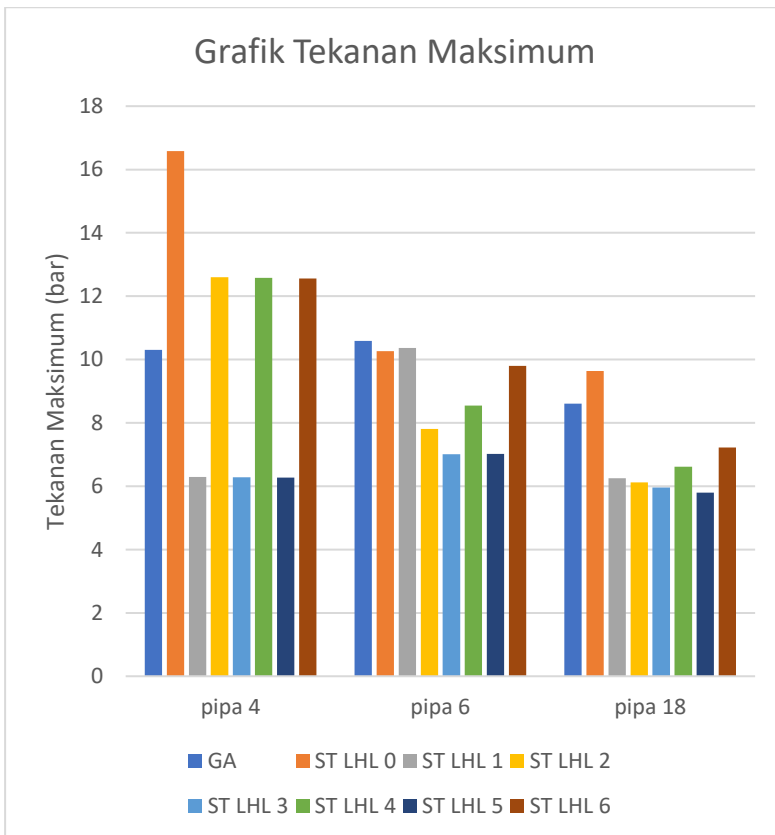
Gambar 4.36 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 6 Meter Pada Pipa 6



Gambar 4.37 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Perbandingan *Gas Accumulator* dan *Surge Tank* *LHL* 6 Meter Pada Pipa 18

Dari gambar 4.35 terlihat bahwa pada pipa 4 *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih tinggi dari pada *gas accumulator*. Tetapi pada pipa 6 dan pipa 18 *surge tank* memiliki tekanan maksimum daripada *gas accumulator*.

Untuk mengetahui dengan jelas perbandingan tekanan maksimum antara *gas accumulator* dan *surge tank* dengan variasi *liquid high level*. Diperlihatkan dalam gambar 4.9.



Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Tekanan Maksimum *Gas Accumulator* dan variasi *Liquid High Level* pada *Surge Tank*.

Dari gambar 4.38 dapat dilihat bahwa pada perbandingan antara *gas accumulator* dan variasi *liquid high level* pada *surge tank* menghasilkan perbandingan yang cukup signifikan, pada pipa 4 *surge tank* dengan *LHL* 0 meter, 2 meter, 4 meter dan 6 meter memiliki tekanan maksimum lebih tinggi dibandingkan *gas accumulator*, sedangkan *LHL* 1 meter, 3 meter dan 5 meter menghasilkan fluktuasi tekanan maksimum dibawah *gas accumulator*. Pada pipa 6 semua variasi *LHL* pada *surge tank* menghasilkan tekanan maksimum yang lebih rendah dari pada *gas accumulator*. Pada pipa 18 hanya *LHL* 0 meter lah yang memiliki tekanan maksimum lebih tinggi dibandingkan *gas accumulator*.

(Halaman ini sengaja dikonsongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang dilakukan untuk mengetahui serta mengevaluasi pengaruh penggunaan alat proteksi *water hammer* antara *gas accumulator* dan *surge tank* yang digunakan terhadap fluktuasi tekanan yang terjadi akibat kegagalan operasi pompa. Kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

1. Pemasangan *gas accumulator* pada jarak 25 meter dari rumah pompa instalasi di unit IPAM Karang Pilang 1 ini menghasilkan fluktuasi tekanan paling tinggi 10.312 bar pada pipa 4, 10.596 bar pada pipa 6 dan 8.616 bar pada pipa 18.
2. Pemasangan *surge tank* pada jarak 25 meter dari rumah pompa instalasi di unit IPAM Karang Pilang 1 ini menghasilkan hasil terbaik pada *liquid high level* variasi 5 meter karena tekanan hanya berfluktuasi hingga 6.629 bar pada pipa 4, 7.024 bar pada pipa 6 dan 5.798 pada pipa 18.
3. Berdasarkan hasil perbandingan simulasi *transient* antara *gas accumulator* dan *surge tank* yang di variasikan *liquid high level*-nya memberikan hasil perbedaan yang cukup berarti, yakni pada pemodelan 1 pompa mengalami kegagalan operasi *gas accumulator* menghasilkan tekanan maksimum yang lebih rendah dari *surge tank* dengan *liquid high level* setinggi 0 meter, 2 meter, 4 meter dan 6 meter. Sedangkan pada variasi *liquid high level* 1 meter, 3 meter dan 5 meter *surge tank* memiliki tekanan maksimum lebih rendah dari *gas accumulator*.
4. *Surge tank* dengan variasi *liquid high level* 1 meter, 3 meter dan 5 meter dapat menjadi alternatif dari *gas accumulator* sebagai pencegahan *water hammer* pada instalasi di unit IPAM Karang Pilang 1.

5.2 Saran

Dari hasil studi numerik mengenai evaluasi sistem proteksi *water hammer* untuk mengurangi lonjakan dan fluktuasi tekanan pada instalasi perpipaan di unit IPAM Karang Pilang 1 didapatkan beberapa saran, yaitu :

1. Pada rumah pompa instalasi di unit IPAM Karang Pilang 1 sistem proteksi *water hammer surge tank* dapat dijadikan alternatif dari sistem proteksi yang sudah terpasang (*gas accumulator*).
2. Pada pemasangan *surge tank* sebaiknya berisikan air agar ketika terjadi fenomena *water hammer* lonjakan dan fluktuasi tekanan dapat direduksi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, Marzal Taufiq. 2009. **Simulasi Pemilihan Sistem Proteksi Water Hammer Pada Transmisi Air Minum**. Tugas akhir. Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [2] Applied Flow Technology. 2008. **AFT Impulse User's Guide, Water Hammer Modeling in Piping System, AFT Impulse version 4.0**. United States of America: Applied Flow Technology
- [3] Fitriani. 2012. **Simulasi Pemilihan Sistem Proteksi Water Hammer Pada Transmisi Air Minum (Studi Kasus Bandara Internasional Juanda)**. Tugas akhir. Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [4] Fox, Robert W., Mc Donald, Pritchard 2004 **Introduction To Fluid Mechanics, 6th Edition**, John Willey and son, Inc.
- [5] Ferdiansyah, Pangki. 2017. **Evaluasi Unjuk Kerja Pengaruh Proteksi Water Hammer (Surge tank dan Gas Accumulator Tipe AS) Pada Sistem Perpipaan Studi Kasus Di Rumah Pompa Produksi Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya**. Tugas akhir. Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [6] PDAM Kota Surabaya. 2009. **Data-data Teknis IPAM Karang Pilang I**. Surabaya: PT PDAM Surya Sembada Surabaya.
- [7] Sularso, Harou Tahara. 1983. **Pompa dan Kompresor**. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bekasi, 4 Januari 1997, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK ALMUHADJIRIN, SDN BEKASI JAYA 1 Bekasi, SDN PACAR KELING 8 Surabaya, SDN BEKASI JAYA 11 Bekasi, SMPN 3 Bekasi, SMAN 4 Bekasi. Setelah lulus dari SMAN 4 Bekasi tahun 2015, Penulis mengikuti SMITS dan diterima di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS pada tahun 2015 dengan NRP 10211500000127. Di Departemen Teknik Mesin Industri ini Penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan pelatihan. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis, antara lain: LKMM Pra-TD FTI-ITS, PKTI (Pelatihan Karya Tulis Ilmiah), PMB (Pelatihan Motor Bakar). Organisasi yang pernah diikuti oleh penulis, yaitu : Departemen Prokesma (2015-2016 sebagai staff) Departemen Akesma (2017-2018 sebagai wakil kepala departemen).

LAMPIRAN 1

Spesifikasi pipa yang digunakan pada unit rumah pompa karang pilang 1 adalah sebagai berikut.

Tabel Spesifikasi Pipa Pada Simulasi

Nomor Pipa	Panjang Pipa (milimeter)	Material Pipa	Diameter Pipa (milimeter)	Tebal Pipa (milimeter)
P1	2000	<i>Steel</i>	777	17,4
P3	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
P4	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
P6	1000	<i>Steel</i>	685	12,7
P7	2000	<i>Steel</i>	685	12,7
P8	2000	<i>Steel</i>	777	17,4
P10	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
P11	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
P13	1000	<i>Steel</i>	685	12,7
P14	2000	<i>Steel</i>	685	12,7
P15	8860	<i>Steel</i>	1000	35
P16	20000	<i>Steel</i>	1000	35
P18	160000	<i>Steel</i>	1000	35
P19	8000000	<i>Steel</i>	1000	35
P20	5000	<i>Steel</i>	641	9,52

LAMPIRAN 2

Spesifikasi sambungan serta komponen penyusun perpipaan yang digunakan pada pemodelan adalah sebagai berikut:

Tabel *Junction* Pipa

Nomor <i>Junction</i>	Jenis <i>Junction</i>	Elevasi (milimeter)
J1	Reservoir IPAM Karang Pilang	4000
J2	<i>Butterfly valve</i>	1050
J3	<i>Pump 1</i>	1050
J4	<i>Check valve</i>	1050
J5	<i>Butterfly valve</i>	1050
J6	<i>Butterfly valve</i>	1050
J7	<i>Pump 2</i>	1050
J8	<i>Check valve</i>	1050
J9	<i>Butterfly valve</i>	1050
J10	<i>Branch</i>	1050
J11	<i>Tee</i>	1050
J20	<i>Tee</i>	1050
J14	<i>Butterfly valve</i>	1050
J15	<i>Reservoir Wonokitri</i>	25000
J21	<i>Gas accumulator/ Surge Tank</i>	1050

LAMPIRAN 3

Perhitungan momen inersia *impeller* pompa dan motor penggerak:

1. Perhitungan momen inersia untuk *impeller* pompa dan air yang tertahan pada *casing* pompa:

➤ Daya pompa (P) = 800 kW

➤ Putaran motor (N) = 985 rpm

$$\bullet I_p = 1,5(10^7) \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0,9556} = 1,5(10^7) \left(\frac{800}{985^3} \right)^{0,9556} = 23,37 \text{ kg.m}^2$$

✚ Momen inersia dari *impeller* pompa dan air yang tertahan pada *casing* pompa adalah $I_p = 23,37 \text{ kg.m}^2$.

2. Perhitungan momen inersia untuk motor penggerak pompa:

$$\bullet I_m = 118 \left(\frac{P}{N} \right)^{1,48} = 118 \left(\frac{800}{985} \right)^{1,48} = 86,73 \text{ kg.m}^2$$

✚ Momen inersia untuk motor penggerak pompa adalah $I_m = 86,08 \text{ kg.m}^2$.

$$\begin{aligned} \text{Maka, Total} &= 23,37 \text{ kg.m}^2 + 86,73 \text{ kg.m}^2 \\ &= 110,1 \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$